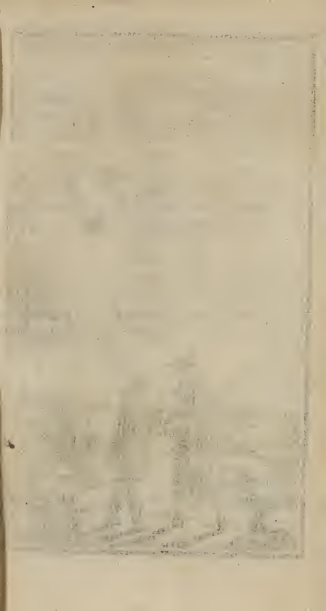




EX BIBLIOTECA
D. A. de VLLOA







DISSERTATION
SUR
LA GLACE,
OU
EXPLICATION PHYSIQUE de la formation de la Glace, & de ses divers phénomènes.

Par M. DORTOUS DE MAIRAN, l'un des Quarante de l'Académie Françoise, de l'Académie Royale des Sciences, &c.



A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.
M. DCCXLIX.



PREFACE

Qui a été lûe dans l'Aſſemblée publique de l'Académie Royale des Sciences, du 13 Novembre 1748.

CET Ouvrage fut écrit il y a trente-deux ans *, dans le fond d'une province où je réſidois, à cent cinquante lieues de Paris, & par conſéquent bien loin des ſecours qu'on trouve dans cette Capitale, & ſur-tout dans l'Académie des Sciences, où j'eus l'honneur d'entrer deux ans après.

Les connoiſſances que j'ai acquiſes dans cette Compagnie, & mes réflexions, m'ont appris combien ces grandes queſ-

* Imprimé pour la première fois à Bordeaux la même année, 1716, où il remporta le Prix propoſé par l'Académie royale des Belles-Lettres, Sciences & Arts de cette ville. Réimprimé à Béziers en 1717, & à Paris en 1730, dans le ſecond volume du Recueil intitulé, *Les vertus médicinales de l'eau commune.*

tions de Phyſique, qui tiennent aux premiers reſſorts de la machine du Monde, & du nombre deſquelles eſt, à mon avis, la queſtion de la Glace, ſont vaſtes & difficiles. On diroit cependant à en juger par le commencement de ma Diſſertation, que je voyois aſſez bien dès-lors toute l'étendue & toute la difficulté de mon ſujet. Je ne m'en expliquerois pas autrement aujourd'hui; mais il eſt certain que je les ſentirois mieux, ou que du moins j'agirois plus conſéquemment, en gardant le ſilence.

Je redonne donc ici un ouvrage que je n'oſerois entreprendre, ſi j'étois à le commencer, & que je donnerois encore moins ſous cette forme de traité complet & ſyſtématique, qui ſuppoſe tant de connoiſſances qui nous manquent, ou que nous n'avons qu'imparfaitement. Je me bornerois à quelques morceaux détachés, aux faits, aux obſervations & aux expériences; & ſi j'avois à faire mention de l'hypothèſe, ce ne ſeroit qu'en paſſant, par voie d'induction & de conjecture. Car les faits, les obſervations & les

expériences ſont la plus grande partie de cette Diſſertation, & je me flatte quelquefois qu'en leur faveur on me pardonnera tout le reſte. C'eſt dans cet eſprit que j'ai ſoigneuſement retouché mon ouvrage, & que je l'ai augmenté de plus du double.

J'en reviens cependant à cette forme ſyſtématique, & pour le dire ſans détour, à mon ſyſtème. Je crains qu'il ne m'enlève des ſuffrages qui me ſeroient précieux: car ſyſtème ou chimère ſemblent être aujourd'hui termes ſynonymes dans la bouche de bien des perſonnes, d'ailleurs habiles, & qui ſe diſtinguent par leurs ouvrages. *C'eſt un ſyſtème*, fait ſouvent la critique entière d'un livre; ſe déclarer contre les ſyſtèmes, & aſſurer que ce qu'on va donner au public n'en eſt pas un, eſt devenu un lieu commun des préfaces.

Oſerai-je après cela employer une partie de celle-ci à montrer qu'on a porté là-deſſus le préjugé au delà de ſes juſtes bornes, & d'autant plus, qu'il a un air de ſolidité & de maturité d'eſprit, qui

impoſe; en un mot, qu'il s'en faut bien que les ſyſtèmes, quelquefois même les plus haſardés, ſoient auſſi contraires à l'avancement des Sciences, & auſſi infructueux qu'on ſe le perſuade communément.

Chaque ſiècle a ſon opinion dominante, ſa méthode & ſa manière de philoſopher. Peut-être que nos prédéceſſeurs faiſoient trop de cas des ſyſtèmes, & qu'ils s'y livroient trop aiſément; mais, quoiqu'en matière de Phyſique & de Sciences humaines, ce ſoient preſque toûjours les dernières opinions qui méritent la préférence, il eſt bon d'obſerver qu'on ne manque guère de les outrer, ne fût-ce que pour les oppoſer davantage à celles du ſiècle antérieur. Il ſemble que l'eſprit humain ſe flatte de racheter par-là ſes anciens égaremens, & qu'il y entre même un peu de dépit. Deſcartes y auroit perdu, s'il avoit trouvé le monde moins entêté d'Ariſtote; Newton a gagné dans ce qu'on avoit accordé de trop à Deſcartes.

On allègue ordinairement contre les

ſyſtèmes l'inſuffiſance de nos lumières; que les ſecrets de la Nature ſeront toûjours impénétrables pour nous, que notre intelligence eſt trop bornée pour y rien comprendre, que la Nature ne nous montre que des effets, qu'elle a étendu un voile épais ſur les cauſes, & qu'elle ſe rit de nos vains efforts.

Mais le point de diviſion entre les connoiſſances où nous pouvons aſpirer, & celles qui nous ſont interdites, entre les effets & les cauſes qui ſe compliquent ſans ceſſe, eſt-il ſi bien marqué dans la Nature, qu'on ne puiſſe pas s'y méprendre? Ceux qui nous condamnent à une éternelle ignorance des premiers principes, ont-ils donc ſi parfaitement vû le fond des choſes, qu'il n'y ait plus d'exception, ni de réviſion à propoſer après eux? Ce qui eſt certain, c'eſt qu'il faut en ſavoir beaucoup pour décider ainſi de la portée de l'eſprit humain, préſent & à venir.

A ces diſcours vagues & équivoques on ne manque pas d'ajoûter une foule d'exemples, tant anciens que modernes,

une ample énumération des extravagances philoſophiques que la licence des ſyſtèmes a produites : comme ſi la Philoſophie, ainſi que l'Hiſtoire, n'avoit pas dû avoir ſes temps fabuleux qui ne tirent point à conſéquence pour les ſiècles éclairés, & ſi dans ces ſiècles mêmes les plus éclairés une infinité de rêveries ſtériles ne devoient pas toûjours l'emporter ſur le petit nombre d'idées ſaines dont les Sciences pourront profiter.

On peut, je l'avoue, abuſer des ſyſtèmes, & l'on en a ſouvent abuſé. Mais qu'y a-t-il de louable & d'utile; qu'avons-nous d'excellent qui ne ſoit pas ſuſceptible d'abus? N'abuſe-t-on pas des expériences ſi elles ne ſont conduites par la méthode, & éclairées du raiſonnement? C'eſt preſque dire ſi elles ne ſont accompagnées de l'eſprit ſyſtématique : car tout raiſonnement renferme quelque idée générale applicable au ſujet, quelque principe de ſpéculation qui s'y rapporte, &, s'il s'agit d'expériences, quelque ſuppoſition tacite de ce qu'elles doivent donner étant bien faites.

Rappellons-nous les expériences de M. Newton ſur la lumière & les couleurs ; non comme on les voit raſſemblées & rédigées dans ſon Optique en ordre de ſynthèſe, car ce n'eſt pas alors qu'il les imaginoit ; mais telles qu'on les trouve répandues dans les Tranſactions philoſophiques, en divers temps, lorſqu'il les cherchoit ou qu'elles ſe préſentoient à ſa recherche. On les y verra naître les unes des autres, à la faveur d'une analyſe exacte, & preſque toûjours en conſéquence de quelque réflexion ſyſtématique.

En vain dira-t-on que *l'eſprit ſyſtématique a fait tomber de tout temps les Philoſophes dans les plus grandes erreurs.* Cet eſprit n'en eſt pas moins tout ce qu'il y a en nous de plus précieux, de plus néceſſaire pour arriver aux connoiſſances les plus ſublimes, comme pour exécuter les plus grandes choſes. Car en quoi conſiſteroit-il cet eſprit, ſi ce n'eſt dans une diſpoſition naturelle tournée en habitude à nous faire un plan raiſonné de notre objet, un tout de ce qui le compoſe,

d'après ce qui nous en eſt connu, pour monter de-là par degrés à ce que nous en ignorons, & qu'il nous eſt important d'en connoître? On abuſe des termes lorſqu'on l'entend autrement, & de cet eſprit même, lorſqu'on s'en ſert à forger des ſyſtèmes & des hypothèſes ſans néceſſité & ſans examen.

Rien n'eſt plus prudent & plus ſage que de s'occuper des faits avant que de paſſer à la recherche des cauſes, & de s'en occuper uniquement & pour toûjours, quand on déſeſpère de réuſſir dans tout autre genre. Nous ne ſaurions trop louer ceux qui ont pris cette route, & qui y marchent avec ſuccès; mais on ne peut diſconvenir en même temps qu'une conduite toute contraire ne nous ait procuré mille nouvelles vûes & d'importantes découvertes. Ceux de qui nous tenons le plus de vérités philoſophiques ont preſque tous mérité le titre, ou, ſi l'on veut, le blâme de gens à ſyſtème. Combien n'y aurions-nous pas perdu s'ils avoient été plus circonſpects ou plus timides!

Le génie de l'invention veut être échauffé, même dans les Sciences exactes; il a souvent besoin d'une espèce de verve qui l'anime & qui le développe. Il est plus que probable que Képler n'auroit jamais pensé à la fameuse Règle qui l'immortalise, si elle n'étoit venue à l'appui, si elle n'étoit sortie comme d'elle-même de son système harmonique des Cieux, tout fondé sur l'inscription des orbes planétaires aux cinq corps réguliers des Géomètres, & sur je ne sais quelles perfections pythagoriques des nombres, des figures & des consonances. Système mystérieux dont il s'occupa depuis sa première jeunesse jusqu'à la fin de ses jours, auquel il rapporta tous ses travaux, qui en fut l'ame, & qui nous a valu la plus grande partie de ses observations & de ses écrits.

Si des systèmes douteux ou chimériques peuvent quelquefois nous procurer des connoissances utiles, si des idées infructueuses par rapport à leur objet ont été l'occasion de plusieurs découvertes, que penserons-nous des systèmes que la

Nature a conſtamment avoués, & qui ſont eux-mêmes autant de découvertes capables de ſe multiplier? Faudra-t-il les ranger ſous une autre claſſe, leur donner un autre nom, & les bannir de la queſtion préſente? Oui, me répondra-t-on; ce ſont des vérités de fait avérées & non des ſyſtèmes. Je veux bien les nommer ainſi; mais la plus grande partie de ces vérités de fait qui nous ſont aujourd'hui ſi précieuſes, & ſur leſquelles on n'héſite point, n'ont-elles pas preſque toûjours commencé par n'être rien moins que certaines ou connues pour telles? Il a donc fallu du courage, de l'obſtination même pour ne les point abandonner, pour en chercher ou pour en attendre les preuves, & s'expoſer en attendant au reproche d'homme à ſyſtème: il a donc été un temps où ces vérités n'étoient que de vrais ſyſtèmes dans la ſignification la moins favorable, en un mot, de ces ſyſtèmes pernicieux à l'avancement des Sciences, & qu'il faut proſcrire, ſi l'on en croit quelques Auteurs.

Combien de contradictions la Circu

lation du ſang n'a-t-elle pas ſouffertes!

Le ſyſtème Copernicien, dont la magnifique idée n'a guère moins étendu notre eſprit, qu'elle a agrandi l'Univers, & dont on fait remonter l'origine juſqu'à la plus reculée antiquité, n'a-t-il pas éprouvé de ſemblables & de plus puiſſantes contradictions pendant une longue ſuite de ſiècles, & preſque de nos jours? Que pouvoit-il être d'abord, en effet, qu'un hardi paradoxe, qu'une hypothèſe purement conjecturale, une ſimple analogie démentie par nos ſens, & qui ne manqua pas ſans doute de couvrir de ridicule celui qui la ſoûtint le premier?

Du ſyſtème Copernicien ſuivoit naturellement la Gravitation univerſelle, la peſanteur des parties du Soleil & de tout ce qui l'environne, de même que des Planètes & de tous les Aſtres quelconques vers leurs propres centres, qu'on n'accordoit qu'à la Terre. Copernic ne l'ignora pas, & il oſa l'avouer. Autre ſyſtème, qui ne pouvoit faire fortune en un temps où l'on étoit perſuadé que toutes les parties de ce vaſte Univers devoient

tendre vers la Terre, & se rapporter à la Terre, comme à l'unique habitation des êtres intelligens, dont ce partage auroit blessé la dignité. Mais le préjugé cède enfin aux découvertes qui se succèdent: la Terre n'est plus qu'une planète huit à neuf cens fois plus petite que Jupiter ou Saturne, & la Gravitation universelle, ou l'Attraction prise en tel sens qu'on voudra, devient le fondement de toute la Physique céleste Newtonienne, l'un des chefs-d'œuvre de notre siècle. Sans compter mille expériences, mille recherches curieuses & utiles dont nous sommes entièrement redevables aux efforts qu'on a faits pour établir de plus en plus cette Attraction. Car le simple desir de savoir n'inspirera jamais la même ardeur, qu'un intérêt personnel ou nationnal à défendre, qu'un système à soûtenir, & son contraire à réfuter.

Ajoûtons que différens esprits doivent envisager la Nature par différens côtés; qu'il faut nécessairement, qu'il est à desirer que chacun cède à l'attrait qui le domine, & qui annonce le talent; que

les uns s'appliquent à conſtater les faits, & que les autres s'attachent à remonter vers les cauſes, ou à deſcendre des cauſes, même inconnues & ſimplement ſuppoſées, juſqu'aux effets. Ce que la règle de fauſſe poſition eſt dans le calcul, une hypothèſe heureuſement haſardée l'eſt quelquefois en Phyſique; elle nous découvre, ſi ce n'eſt le vrai, du moins quelque circonſtance qui s'y rapporte, & qui pourra nous aider un jour à le découvrir.

Enfin il ne faut que parcourir l'hiſtoire de l'eſprit humain dans ce qui tient aux Sciences naturelles, pour ſe convaincre que les ſyſtèmes ont été dans tous les temps une ſource féconde de découvertes, ou tout au moins d'obſervations & d'expériences dont on ne ſe ſeroit peut-être jamais aviſé, s'ils n'en avoient fait naître l'idée. Eh qu'importe que les ſyſtèmes nous expoſent quelquefois à prendre de fauſſes lueurs pour la lumière? Tel a été le ſort des plus grands hommes, de ces hommes nés pour redreſſer leur ſiècle; ils n'ont pas toûjours évité eux-

mêmes de s'égarer, ils n'ont pû arracher la vérité du milieu des ténèbres, ſans entraîner avec elle quelques erreurs; mais les vérités nous demeurent, & les temps diſſiperont les erreurs.

Je n'inſiſterai pas davantage ſur l'utilité des ſyſtèmes, à la tête d'un livre qui pourroit bien fournir un nouveau champ pour les combattre. J'ai voulu ſeulement faire ſentir l'excès où il me ſemble qu'on a porté un préjugé quelquefois utile, ſans prétendre éluder par-là les difficultés qu'on peut me faire contre une hypothèſe & des explications qui embraſſent en un ſens tout le ſyſtème du Monde. Mais puiſque mon ouvrage eſt public, & qu'il va reparoître dans cette quatrième Edition, je crois devoir encore donner ici quelqu'éclairciſſement ſur la *Matière ſubtile* que j'y ai miſe en œuvre, & ſur laquelle tombera peut-être la principale de ces difficultés.

La Matière ſubtile a ſubi le ſort des Syſtèmes, & par les mêmes raiſons; on n'oſeroit preſque plus l'avouer, & peu s'en faut que le nom n'en ſoit entière-

ment banni des livres de Phyſique. Je ſouſcris à ſa condamnation, ſi l'on entend par-là le premier élément de Deſcartes ſans reſtriction, & plus encore s'il s'agit de ces globules durs & inflexibles dont il rempliſſoit l'Univers, & que je crois inſoûtenables. Mais je ne penſe pas qu'on aît voulu exclurre avec la matière ſubtile Cartéſienne, tout fluide ſubtil qui pénètre les corps, tout agent inviſible, quoique matériel, comme cauſe d'une infinité de phénomènes qui frappent nos ſens. Je me flatte, dis-je, que la matière ſubtile qui fait le fond de mon hypothèſe, ne ſera pas rejetée de la Nature, dans un temps où des expériences auſſi ſurprenantes qu'inconteſtables nous décèlent un fluide dont l'activité ſe fait ſentir en un inſtant à deux mille toiſes du lieu où il eſt mis en action. Car ſeroit-ce un être métaphyſique, ou le néant de matière, qui auroit beſoin d'un véhicule matériel, d'une corde ou d'une chaîne, pour ſe tranſmettre au delà du Tube ou de la Machine électrique, pour y attirer & y repouſſer alternativement de petits corps,

& pour frapper un animal d'un coup qui ne diffère presque pas de celui de la foudre?

Les causes premières & méchaniques des effets de la Nature ne nous sont si cachées, qu'en ce qu'elles agissent par ces fluides subtils & invisibles, ou par quelque fluide universel qui opère sous mille aspects différens: & il n'y a pas de doute, que si les loix du mouvement de ce fluide, ou de ces fluides, nous étoient connues, on ne donnât raison d'un grand nombre de phénomènes que les expériences ne nous représentent que très-imparfaitement.

Mais en savons-nous assez sur ce principe actif & invisible, pour pouvoir l'employer dans nos recherches, ne fût-ce que par voie d'essai & de conjecture? Y a-t-il quelque utilité à espérer d'une pareille tentative? Il faut bien que Newton, que le sage & solide Newton ne l'ait pas jugée téméraire, lui qui nous en fournit tant d'exemples.

Je ne parlerai pas de ceux qu'on peut recueillir de sa grande lettre à M. Boyle, écrite en 1678, & imprimée depuis peu

avec la vie de cet illustre Physicien qui a lui-même si souvent employé ce fluide actif, & les atmosphères insensibles des corps, sur quoi roule toute cette lettre. On croiroit peut-être que M. Newton s'est volontiers donné carrière là-dessus avec un ami, & qu'il a hasardé dans le particulier ce qu'il n'auroit pas voulu rendre public. Mais que pensera-t-on de la manière dont il s'en est expliqué quarante ans après dans son Optique, sur diverses questions qu'il y propose, & enfin sur le grand phénomène de la Pesanteur. *J'ai inséré*, dit-il, dans l'avertissement ajoûté à la seconde édition de cet excellent ouvrage, *j'ai inséré quelques nouvelles questions à la fin de mon troisième livre. Et de peur que quelqu'un ne pense que je mets la Pesanteur au nombre des propriétés essentielles des corps, j'en ai ajoûté une en particulier sur la cause de ce phénomène.* Or on sait que cette question, ou, comme il la nomme ailleurs, cet essai d'explication, porte entièrement sur l'hypothèse d'un fluide subtil, élastique & *comprimant*, répandu dans tout l'Univers.

Il ne s'agit point ici d'examiner plus particulièrement l'explication de M. Newton, ce que nous en devons penſer, ni en quoi elle pourroit être, ou n'être pas préférable à celles de Deſcartes, de Malebranche, & de quelques autres auteurs. Je remarque ſeulement que lorſque les plus grands Philoſophes ont tant fait que de vouloir expliquer certains effets généraux de la Nature par une cauſe intelligible (& ils l'ont tous voulu) ils ont été contraints d'avoir recours à quelque ſemblable fluide, & qu'ils n'ont fait nulle difficulté de s'en ſervir. Eh comment concevoir ſans cela, que des corps qu'on voit ne ſe pas toucher puſſent agir les uns ſur les autres? Il faut bien que quelque agent intermédiaire ſupplée à l'impulſion, & opère en effet l'impulſion; ſans quoi, comme dit fort bien M. Locke, *ce ſeroit autant que d'imaginer qu'un corps pût agir là où il n'eſt pas.* Les Savans ont beau ſe diviſer, il n'y a pas deux manières de philoſopher pour ceux qui ſont équitables & véritablement philoſophes; il s'agira toûjours de

ramener nos recherches aux notions les plus claires & les plus ſimples, d'après les faits, & l'inſpection réfléchie de la Nature.

J'admets donc la matière ſubtile dans cet eſprit, & avec toutes les qualifications dont M. Newton l'accompagne dans ſon Optique, *de fluide actif, infiniment ſubtil, d'E'ther répandu dans les Cieux & ſur la Terre par ſon élaſticité, & traverſant librement les pores de tous les corps.*

Du reſte je ne me ſuis point engagé dans la diſcuſſion, s'il y a du vuide entre les interſtices de cette matière, comme le prétend M. Newton, ou ſi, ſubdiviſée à l'infini, elle forme un Plein abſolu, comme le ſuppoſent Deſcartes & le P. Malebranche. Cette queſtion eſt à mon avis plus métaphyſique que phyſique, & je crois qu'on peut s'en paſſer, je ne dis pas ſeulement dans celle de la glace, mais dans toutes les autres queſtions purement phyſiques. Car de quelque manière qu'on l'entende, il faudra toûjours en venir à de petits eſpaces, ou vuides, ou remplis de quelqu'autre fluide plus ſubtil, &, pour ainſi dire, indifférent à celui dont le

jeu produit le phénomène en queſtion; ce qui revient au même que le *vuide diſſéminé* de ces petits eſpaces. C'eſt ainſi que lorſqu'il ne s'agit que de l'air, par exemple, ſon élaſticité étant donnée, & d'expliquer ſeulement les phénomènes qui en dépendent, il eſt preſque toûjours inutile de faire attention à la matière éthérée qui remplit les interſtices de l'air.

Un ſemblable raiſonnement doit me diſpenſer d'entrer dans aucun détail ſur la cauſe de la dureté ou de la cohéſion primitive des parties des corps, que j'attribue avec quelques Philoſophes aux preſſions d'une matière ſubtile ou de ce fluide élaſtique qui environne les corps & qui pénètre plus ou moins dans leurs pores. Autre queſtion pareillement métaphyſique dès qu'on veut la pouſſer juſqu'à ſes derniers termes. En ſuppoſant l'exiſtence de ce fluide, comme je fais par voie de demande & d'hypothèſe, je n'entreprends nullement d'expliquer à ſon égard le méchaniſme par lequel il m'aide lui-même à donner raiſon de la cohérence des élémens plus groſſiers de la

matière dure ou fluide qui tombe ſous nos ſens; car il n'y auroit plus de fin à une pareille recherche. On conçoit aſſez en général que la preſſion de l'Éther ou de quelqu'autre fluide élaſtique, plus ſubtil que l'air, peut unir enſemble les élémens d'une particule d'air, comme on conçoit que l'air ambiant unit & preſſe l'un contre l'autre les deux hémiſphères d'un globe creux dont on a pompé l'air. Mais quelle autre matière ſubtile unit entr'elles avec une force quelconque, les élémens de chaque particule de la première? Car qui dit matière, dit parties, dont l'idée ne renferme celle d'aucun lien, à moins que ce lien ne ſoit compoſé lui-même d'autres parties qui ont le leur, & ainſi de ſuite à l'infini.

C'eſt apparemment de l'impoſſibilité d'arriver à cet infini par une ſemblable voie, & en quelque ſorte de l'épuiſer, que la doctrine des atomes ou des parties eſſentiellement dures & *inſécables* de la matière a pris naiſſance. Mais peu nous importe dans le cas préſent de quelque manière qu'on penſe ſur ce ſujet. Il ſuffit

que les forces actuelles du tourbillon ſolaire ou terreſtre que nous habitons, aidées de tout notre art, n'aient pû juſqu'ici nous montrer la décompoſition de certains corps au delà de leurs parties intégrantes, c'eſt-à-dire, au delà de celles qui donnent ces mêmes corps par la récompoſition, & ſans leſquelles ils ceſſeroient d'être ce que les expériences nous indiquent manifeſtement qu'ils ſont; ainſi qu'il arrive à l'or, au mercure, & à quelques autres ſubſtances réputées indeſtructibles.

La Phyſique proprement dite, & l'Infini renferment des idées contradictoires. On ne ſauroit approfondir ces queſtions abſtraites, du vuide & du plein, de l'eſpace, de la cohéſion primitive des parties de la matière, de l'origine du mouvement, ſans remonter juſqu'à la cauſe des cauſes, à la cauſe vraiment active & efficiente, en un mot juſqu'au premier Etre, & l'on peut dire en ce ſens, que toute la Phyſique, tout ce qu'en embraſſe l'objet ſoûmis à nos recherches, n'eſt qu'un corollaire de la Nature.

Le

Le Phyſicien qui ne veut point paſſer les bornes qui lui ſont preſcrites en tant que tel, peut donc hardiment regarder le vuide hypothétique dont nous venons de parler, le mouvement, la cohéſion des parties de la matière, & les parties intégrantes des corps, comme autant de données, à raiſon du ſujet qu'il traite. Il a rempli ſa tâche, ſi, en partant de ces principes, il arrive de conſéquence en conſéquence, juſqu'à la cauſe prochaine des effets naturels qu'il s'étoit propoſé d'expliquer: de même que le Méchanicien ou l'Horloger de qui nous attendions l'explication d'une horloge, eſt cenſé s'être acquitté envers nous, lorſqu'en paſſant de l'aiguille ou du balancier à tout le reſte de la machine, il nous a conduits juſqu'au poids ou juſqu'au reſſort qui en eſt le premier moteur; ſans s'inquiéter autrement de la cauſe de la Peſanteur, ou de celle du Reſſort. En demander davantage, ſe décourager, & décourager ceux qui travaillent, par la raiſon, fût-elle inconteſtable, que nous ne ſaurions aller plus loin, ſeroit fermer l'entrée à mille con-

noiſſances utiles dans la vie, & infiniment ſatisfaiſantes pour l'eſprit.

Après cette digreſſion que je n'ai pas crue étrangère à mon ſujet, & avant que de finir ſur la matière ſubtile qui m'y a amené, je dois avertir, que ſi l'on m'accorde ce fluide actif & élaſtique, cauſe inviſible de tant de phénomènes, &, ſelon moi, de la congélation & de la fuſion, on m'accordera peut-être plus qu'on ne penſe. C'eſt-à-dire, que dès qu'on voudra attacher une idée claire & diſtincte à ce fluide, on tombera néceſſairement dans l'hypothèſe des petits tourbillons dont le P. Malebranche a compoſé ſa matière éthérée. Mais que fera-t-on encore en cela, que ce que nous devons préſumer qu'a fait M. Newton?

Quand ce Philoſophe a voulu nous donner une explication méchanique de la Peſanteur, il n'a pas prétendu ſans doute, que le moyen qu'il y employoit, que ſon fluide élaſtique fût exempt de méchaniſme; il n'a pas voulu expliquer une choſe obſcure par une autre auſſi obſcure, admettre l'élaſticité eſſentielle

de la matière, pour faire voir qu'il n'admettoit pas la pesanteur essentielle de la matière. Il a donc tacitement admis les petits tourbillons: car j'ose avancer que tout autre principe d'élasticité ou de ressort dans un fluide est inintelligible. La force primitive du ressort ne peut être qu'une force centrifuge; la force centrifuge ne peut exister que par le mouvement de la matière autour d'un centre ou autour d'un axe, & de ce mouvement naissent les tourbillons. Donc il est inconcevable qu'il y ait dans la Nature un fluide primitivement & méchaniquement élastique, s'il n'est composé de petits tourbillons. Donc M. Newton, en admettant un fluide primitivement élastique, a tacitement admis les petits tourbillons.

Et la matière du feu élémentaire de Boerhaave, de quoi seroit-elle composée, si ce n'est de semblables tourbillons ou globules élastiques? Cet illustre Médecin a montré par mille expériences & par autant de judicieuses réflexions dont sa Chymie est remplie, que la matière du feu étoit répandue dans tous les

corps, tant fluides que ſolides, où elle n'avoit beſoin que de certaines circonſtances pour ſe manifeſter à nos ſens; qu'elle étoit toûjours plus ou moins en mouvement, que ſon caractère diſtinctif, & auquel ſe réduiſent tous les autres, étoit le reſſort, l'expanſion & la propriété de raréfier & de dilater tous les corps. Auſſi ne trouverois-je nul inconvénient à la prendre pour la matière ſubtile que j'ai adoptée dans ma Diſſertation ſur la Glace, elle en a toutes les propriétés, & elle en remplit parfaitement les fonctions.

Il réſulte donc de tout ce que nous venons d'obſerver ſur ce fluide qui anime tous les autres fluides, & qui pénètre tous les ſolides, que quelque différentes que ſoient en apparence les idées qu'on s'en eſt faites, elles concourent toutes à l'admettre, & à lui accorder une ſubtilité indéfinie, l'activité & l'élaſticité. Je ne l'admets auſſi que ſous ce point de vûe général; & c'eſt tout ce que j'avois à en dire par rapport à mon ſujet.

Je paſſe ſous ſilence quelques autres

avertiſſemens plus particuliers & moins importans, qui trouveront leur place dans l'ouvrage même. J'ajoûterai ſeulement ici, qu'en ſuivant mon premier plan, car je n'ai pas cru devoir m'en écarter, j'ai haſardé encore bien des conjectures dont je me ſerois peut-être abſtenu en toute autre rencontre ; mais je les donne ſans peine, dans la perſuaſion où je ſuis qu'elles pourront fournir matière à de nouvelles obſervations & à de nouvelles expériences.



TABLE
DES CHAPITRES
Contenus dans ce Volume.

PREMIERE PARTIE.

SECONDE PARTIE.

SECTION PREMIÈRE.

SECTION II.

SECTION III.

SECTION IV.

SECTION V.



ERRATA.

Page.	*Ligne.*	*Faute.*	*Correction.*
7,	*17, 18,*	causée.	causées
22,	*21,*	dehors !	dehors
54,	*5,*	neiges.	neige
71,	*2, 3,*	de cette épaisseur	de l'épaisseur
103,	*7,*	de l'eau	de l'eau,
136,	*4,*	la note.	la grande note
145,	Note,	Page 83.	Page 114.
167,	*28,*	qui n'ont	qui n'auroient
169,	*dernière,*	sujet on	sujet: on
280,	*23,*	Dannemarc. . .	Danemarc
287,	Note *(b)*	Dannemarc. . .	Danemarc
356,	*5,*	Le morceau de. .	Le morceau du

DISSERTATION



DISSERTATION
SUR
LA GLACE,
OU
EXPLICATION PHYSIQUE de la formation de la Glace, & de ses divers phénomènes.

EXPLIQUER la formation de la Glace, c'est montrer par des raisons prises de la nature & des propriétés des corps qui se changent en Glace, comment & par quelle méchanique se fait un tel changement. Cette explication suppose donc une connoissance exacte de la nature & des propriétés des corps qui se glacent, c'est-à-dire, des Liquides.

Mais les corps ne pouvant changer que par l'action d'une cause étrangère, il faudra

examiner ici quelque chose de plus que le Liquide & la Glace, & reconnoître nécessairement d'autres corps ou une autre matière, soit visible, soit invisible, qui détermine les Liquides à perdre leur liquidité, & à recevoir cette nouvelle modification qu'on appelle Glace.

On voit par-là de quelle difficulté est la question dont il s'agit, & par elle-même & par la liaison qu'elle a avec plusieurs autres questions très-difficiles. Disons plus, la formation de la glace & ses divers phénomènes, embrassent, en un sens, tout le système physique de l'Univers; car la cause de la Congélation est sans contredit invisible, & puisque la Glace ne se forme pas moins dans la machine du vuide que dans l'air, il faut que le corps étranger qui agit sur les liqueurs pour les glacer, soit quelque fluide beaucoup plus subtil que l'air, quelque matière éthérée & active, qui environne & qui pénètre plus ou moins tous les corps, tant durs que fluides; matière que le commun des hommes peut bien regarder comme chimérique, mais que la plus saine partie des Philosophes admet, comme la source de tous les mouvemens visibles ou invisibles, externes ou internes des corps, & par-là de tous les changemens & de toutes les variétés de la Nature; en un mot, comme le ressort de la machine du Monde.

Il faut encore considérer que le nombre des liquides différens, tant simples que composés, & par conséquent des différentes sortes de congélation, est comme infini; car quoique toutes les congélations soient analogues, en ce qu'elles partent vrai-semblablement de la même cause, elles varient néanmoins infiniment par les phénomènes qui les accompagnent. Mais si l'on approfondit davantage cette question, on trouvera qu'elle ne se borne pas aux seuls liquides, & que les corps les plus durs n'en doivent pas être exceptés.

Nous savions que les résines, les métaux, le verre, & la plûpart des minéraux & des fossiles étoient fusibles ou pouvoient devenir liquides; mais les expériences du fameux miroir ardent du Palais royal * nous ont appris qu'il n'y a presque pas de corps sur la Terre qui ne puisse être fondu & vitrifié par un feu violent; & que s'il y en a quelqu'un qu'on n'ait pû réduire à ces deux états différens, on peut présumer avec beaucoup de vrai-semblance que c'est faute d'art ou de quelqu'agent assez fort pour cela. Or qu'est-ce que la fonte causée par la chaleur, qu'un véritable Dégel! & la dureté qui survient au corps fondu par le refroidissement de ses parties, qu'une véritable Congélation! La

* Hist. de l'Acad. des Sc. 1699, *p. 90.* Mém. 1702, *p. 141.* 1709, *p. 162.*

congélation & le dégel font deux effets réciproques, dont l'examen appartient certainement à la queſtion préſente ; & puiſqu'il n'y a rien ſur la terre qui ne ſoit ſuſceptible de ces deux changemens, il eſt clair que la queſtion préſente tombe ſur tous les corps de la terre.

On ne s'attend pourtant pas ſans doute à me voir traiter ici de la Glace dans toute l'étendue que préſente cette idée, & je ne préſume pas aſſez de mes forces pour l'entreprendre. Mais en ne m'attachant qu'à ce qu'il y a de plus eſſentiel & de plus curieux ſur ce ſujet, quel vaſte champ ne me reſte-t-il point encore à parcourir !

J'ai déjà aſſez fait connoître que j'attribue la formation de la glace à une matière ſubtile & active qui environne & qui pénètre les liquides. Il s'agit donc de trouver le rapport qu'il y a de cette matière, & de ſes divers mouvemens à la congélation, comme de la cauſe à l'effet. Mais afin de mieux expliquer ma penſée là-deſſus, je vais reprendre la route que j'ai tenue pour y arriver, & chercher ici tout de nouveau la cauſe de la congélation, comme ſi je n'avois encore formé aucune hypothèſe ſur ce ſujet.

La théorie de la formation de la glace doit fournir l'explication particulière de ſes principaux phénomènes, comme réciproquement l'explication des phénomènes doit

répandre ſur la théorie un nouveau jour & un nouveau degré de probabilité.

PREMIE'RE PARTIE.

De la formation de la Glace.

PUISQUE la connoiſſance des liquides eſt abſolument néceſſaire pour découvrir la cauſe de la formation de la Glace, on ne peut ſe diſpenſer de commencer cette recherche par l'examen des Liquides. Voyons donc ce que c'eſt qu'un liquide, & fixons l'idée qu'on s'en doit former, par des définitions & des deſcriptions exactes. Après cela, la cauſe de ſa congélation, la manière dont ſa liquidité peut ſe détruire, ſe préſentera ſans doute d'elle-même. Nous examinerons enſuite ſi cette cauſe eſt unique, ou s'il y en a quelqu'autre qui concoure avec elle; & enfin les différens degrés de force & d'activité qu'elle peut avoir, ſelon les différens ſujets ſur leſquels elle agit.



CHAPITRE PREMIER.

Définitions, principes & remarques sur la nature des Fluides & des Liquides.

LA *liquidité* n'est qu'une espèce de *fluidité.* Un *Fluide* en général est un corps dont les parties ne sont pas liées ensemble, qui cède aisément au toucher, qui résiste peu à la division, & qui se répand comme de lui-même.

Parmi les fluides, quelques-uns se répandent par leur ressort & par leur poids, comme l'air, par exemple; ou seulement par leur poids, comme un monceau de sable, sans que leur surface supérieure se mette exactement de niveau, & ce sont-là des Fluides proprement dits.

Mais il y en a d'autres, tels que l'eau, l'huile & le mercure, qui se répandent & par leur poids & par le mouvement que les parties qui les composent ont en tout sens les unes à l'égard des autres; de manière que s'ils sont en suffisante quantité, ils coulent & s'étendent jusqu'à ce que leur surface supérieure se soit mise exactement de niveau, & c'est-là ce qu'on nomme des *Liquides.* C'est ce niveau & ce parallélisme perpétuel de leur surface, en conséquence de leur

poids & du mouvement que leurs parties ont en tout ſens, qui les diſtingue des fluides proprement dits, & qui fait le vrai caractère de la liquidité.

Nous dirons cependant d'un liquide conſidéré dans ſes différens états, ou comparé à un autre liquide, qu'il eſt *plus ou moins fluide*, pour dire qu'il eſt plus ou moins coulant, & que ſes parties apportent moins ou plus de réſiſtance à leur ſéparation.

Le mouvement des parties des liquides n'eſt pas viſible, parce que ces parties ſont trop petites pour être aperçues; mais il n'eſt pas moins réel. Entre pluſieurs effets qui le prouvent, un des principaux eſt la diſſolution & la corruption des corps durs cauſée par les liquides. On ne voit aucun mouvement, par exemple, dans de l'eau forte qu'on a laiſſé repoſer dans un verre; cependant ſi l'on y plonge une pièce de cuivre, il ſe fera d'abord une efferveſcence dans la liqueur: le cuivre ſera rongé viſiblement tout autour de ſa ſurface, & enfin il diſparoîtra en laiſſant l'eau forte chargée par-tout & uniformément de ſes parties devenues imperceptibles, & teintes d'un bleu tirant ſur le verd de mer. Ce que les eaux fortes ſont à l'égard des métaux, les autres liquides le ſont à l'égard d'autres matières; chacun d'eux eſt diſſolvant par rapport à certains

corps plus ou moins, ſelon la figure, l'agitation, la ſolidité ou la ſubtilité de ſes parties. Or il eſt clair que la diſſolution ſuppoſe le mouvement, ou n'eſt autre choſe que l'effet du mouvement. Ce n'eſt pas le cuivre qui ſe diſſout lui-même, il ne donne pas non plus à la liqueur une agitation qu'il n'a pas; le repos de ſes parties & le repos des parties du liquide joints enſemble, ne produiront pas un mouvement; il faut donc que les parties du liquide ſoient véritablement agitées, & qu'elles ſe meuvent en tout ſens, puiſqu'elles diſſolvent de tous côtés & en tout ſens les corps ſur leſquels elles agiſſent, juſqu'à les réduire en poudre impalpable. On en peut dire autant de l'efferveſcence de certaines liqueurs, lorſqu'on les mêle enſemble. Le mouvement ſubit & intérieur qui naît de ce mélange viendroit-il de leur repos mutuel? Quelle qu'en fût la cauſe nous l'appliquerions encore à notre ſujet.

Le mouvement inteſtin des liqueurs eſt ſi indiſpenſable pour la diſſolution, que quand même on y feroit intervenir l'Attraction réciproque des parties contigues entre le diſſolvant & le corps à diſſoudre, on ſeroit encore contraint d'y admettre le mouvement ou le tranſport local & en tout ſens de celles du premier; ſans quoi il ſeroit impoſſible de concevoir qu'elles pûſſent toutes agir ſur le ſolide, ou ſur le liquide qui leur eſt ſoûmis,

les plus éloignées, comme les plus proches, & répandre uniformément les parties diſſoutes, dans toute la maſſe du diſſolvant*.

A cette preuve, qui eſt très-forte, j'en ajoûterai une ſeconde qui ne l'eſt pas moins. Nous la tirerons de l'évaporation des liquides, ou de leur volatilité, qui, comme on va voir, & toutes choſes d'ailleurs égales, doit être d'autant plus grande, que la matière ſubtile ou éthérée qui les pénètre s'y meut avec plus de liberté & de vîteſſe, & peut leur communiquer par-là plus de mouvement.

CHAPITRE II.

Mouvement inteſtin des Liquides déduit de leurs évaporations.

L'ÉVAPORATION des Liquides, en général, n'a lieu que lorſqu'ils ſont expoſés à l'air libre, & n'eſt jamais ſi ſenſible que lorſque cet air eſt agité ou change ſans ceſſe. Elle eſt ordinairement nulle dans

* *Ipſa quoque ſolutio ſalium, quam aqua quieta peragit; demonſtrat elementa illius moveri inter, licet ſolutio hæc Attractioni potiùs partium inter ſe, quàm propulſui, tribuenda videatur: attamen ſolutio in tota maſſa vix futura videtur, niſi inteſtino motu, de loco in locum continenter agitata elementa; ſucceſſivè ità ſe applicarent ad ſolvendum ſalem.* Boerhaave, Chemia, T. I, p. 306. Edit. Parif. 1733.

un vaiſſeau bien bouché, & toûjours beaucoup moindre, lorſque l'air qui appuie ſur la ſurface des liquides eſt tranquille, les parties qui s'en élèvent ne pouvant alors s'échapper, ou y retombant auſſi-tôt.

Suppoſant donc un liquide expoſé à l'air libre, ſon évaporation devra être d'autant plus grande, 1° qu'il préſentera plus de ſurface à cet air; 2° que ſes parties ſeront moins peſantes, & que l'air qui frappe ſur ſa ſurface pourra, par cette ſeule raiſon, plus aiſément les ſoûtenir, les entraîner, s'en imbiber; 3° qu'il ſera plus fluide, ou que ſes parties auront moins de ténacité entr'elles; 4° & enfin, ſi le mouvement inteſtin a lieu, ſelon que ce mouvement ſera plus grand: car, comme nous l'expliquerons bien-tôt, les liquides, par cette ſeule cauſe, doivent tendre à ſe diſſiper plus ou moins vîte, ſelon qu'elle agira avec plus ou moins de force. J'avoue qu'on pourroit encore ajoûter la groſſeur & la configuration des parties; mais outre que nous ne ſavons rien d'aſſez poſitif ſur ces circonſtances, je les crois ſuffiſamment compriſes dans celles de la peſanteur ſpécifique, & de la fluidité.

Ce ſont-là, ſi je ne me trompe, les principales cauſes de l'Evaporation des liquides. Mais comme on peut toûjours faire ou ſuppoſer leurs ſurfaces égales, lorſqu'on veut comparer deux ou pluſieurs liquides

entr'eux, nous fupprimerons cette première caufe de leur évaporation, & nous nous arrêterons aux trois dernières, dont nous énoncerons le concours fous cette forme abrégée; *l'Evaporation des Liquides eft en raifon compofée inverfe de leurs pefanteurs fpécifiques, & directe de leur degré de fluidité, & de leur mouvement inteftin.*

Donc fi l'expérience étant faite fur ce plan, elle nous montre que de ces trois caufes les deux premières font infuffifantes pour nous donner l'Evaporation abfolue & réelle des liquides, nous devons en conclurre que la troifième exifte, & nous ferons d'autant plus en droit de le conclurre, & d'admettre cette troifième caufe, que l'infuffifance des deux premières enfemble fera plus manifefte & plus marquée. C'eft ce que nous allons voir par la comparaifon de deux liquides fort connus, l'eau & l'efprit de vin.

J'ai expofé fur une fenêtre fituée au couchant deux petites foucoupes de porcelaine, à peu près égales & de même poids, circulaires, & d'environ 4 pouces de diamètre à l'endroit de leur évafement jufqu'où j'avois prévû que devoit monter la liqueur; le Thermomètre de M. de Reaumur étant alors fur cette fenêtre à 11 degrés au deffus du terme de la congélation, & le Baromètre à 27 pouces 10 lignes; vers les neuf à dix

heures du matin, temps ſombre, par un vent preſque inſenſible de ſud-ſud-oueſt vers le milieu du mois de Mai, à Paris; j'ai verſé dans l'une des deux ſoucoupes deux onces d'eau de rivière, & autant d'eſprit de vin, rectifié à l'épreuve, dans l'autre. J'ai réduit enſuite chacune des deux ſoucoupes, y compris la liqueur qu'elle contenoit, en ôtant ou remettant quelque goutte de liqueur de part ou d'autre, exactement au même poids.

Le tout ainſi diſpoſé & laiſſé en expérience, pendant une heure, & ayant peſé de nouveau chacune des ſoucoupes, y compris la liqueur reſtante, j'ai trouvé au bout de cet intervalle l'eſprit de vin diminué de 2 gros 50 grains, & l'eau ſeulement de 25 grains. Ce qui donne le rapport de 194 à 25, un peu moindre que de 8 à 1.

Le 29 du même mois à midi, le Thermomètre étant à 17 degrés au deſſus de la congélation, ſur la même fenêtre, le Baromètre à 28 pouces; j'ai expoſé de même deux taſſes à café de porcelaine, ſenſiblement égales, que j'ai remplies à une demi-ligne près, l'une d'eau de rivière, l'autre du même eſprit de vin que ci-deſſus, par un vent de nord très-foible, temps ſerein & beau ſoleil, mais ni le vent ni le ſoleil ne donnant point ſur cette fenêtre. Chaque

tasse avoit 2 pouces 7 lignes d'ouverture ; ce qui produit une surface à peu près en raison de 25 à 60, ou de 5 à 12 par rapport à celle des soucoupes de la première expérience. C'est pourquoi je les ai laissées 2 heures 25 minutes en expérience, pour avoir l'égalité, en compensant par le temps ce qu'il y avoit de moins aux surfaces.

Au bout de cet intervalle l'esprit de vin étoit diminué de 4 gros, & l'eau de 34 grains; ce qui donne le rapport de 288 à 34, un peu plus grand que de 8 à 1. Et comme la première expérience le donne un peu moindre, nous le prendrons comme assez juste, de 8 à 1.

C'est à ces deux expériences, choisies entre un grand nombre d'autres, & au rapport qui en résulte, que je m'arrêterai ; parce qu'il n'est pas tant question ici des Evaporations absolues de tels ou tels liquides, en telles ou telles circonstances, de chaud ou de froid, de sec ou d'humide, de vent ou de calme, que de leurs évaporations relatives, lesquelles varient beaucoup moins en de mêmes circonstances. Mais je dois avertir que les expériences qu'on feroit là-dessus avec une trop petite quantité de liqueur, eu égard à la grandeur des surfaces, ou, ce qui revient au même, par un plus long intervalle de temps, & jusqu'à siccité de part & d'autre, seroient trompeuses, en

ce que l'esprit de vin, qui reste un peu auparavant, est trop affoibli, & que dans ce cas ce n'est plus qu'une espèce de phlegme insipide, dont l'évaporation n'a pû qu'être beaucoup plus lente que celle de l'esprit de vin dans sa pureté, tandis que l'évaporation de l'eau, plus uniforme, ne lui a presque pas fait changer de nature. L'esprit de vin qui restoit après les évaporations précédentes mettoit encore très-vîte le feu à la poudre.

Nous trouvons donc par ces expériences que le rapport des évaporations de l'esprit de vin à celles de l'eau est environ comme de 8 à 1. Voyons présentement quelle est la partie de l'évaporation absolue des deux liquides, qu'il convient d'attribuer aux deux premières causes, c'est-à-dire, aux pesanteurs spécifiques & aux fluidités qui s'y compliquent.

La pesanteur spécifique de l'eau de rivière est, selon M. Musschenbroeck *(a)*, à celle de l'esprit de vin rectifié, comme 1009 à 866, & sa fluidité, selon les expériences de M. le Monnier Médecin *(b)*, comme 1000 à 1098. Cela posé, &, que la *volatilité* ou la facilité à s'évaporer dans les liquides, est, toutes choses d'ailleurs égales, en raison composée inverse de leurs pesanteurs spécifiques, & directe de leurs fluidités, il est

(a) Essai de Physique, *p. 414.*
(b) Hist. de l'Acad. des Sc. 1741, *p. 15.*

clair que la volatilité de l'esprit de vin, par ces deux seules causes, devra être à celle de l'eau, comme le produit de 1009 par 1098, au produit de 866 par 1000; ce qui se réduit à environ comme 5 est à 4.

D'où l'on voit que l'évaporation de l'esprit de vin, par sa légereté & par sa fluidité, ne surpasseroit l'évaporation de l'eau, rapportée à ces deux mêmes causes, que de $\frac{1}{5}$; tandis que par le concours des trois causes elle la surpasse de $\frac{7}{8}$. Ce qui, sans pousser plus loin le calcul, montre assez que la troisième cause, le mouvement intestin, doit entrer dans l'évaporation de l'esprit de vin, qu'il en constitue la principale partie, & par conséquent qu'il existe. On trouvera d'après les mêmes expériences, & par une analyse dont je supprime le détail, que le mouvement intestin de l'eau n'est pas moins réel, quoique de beaucoup moins grand, ne faisant pas tout-à-fait la 6me partie de celui de l'esprit de vin; & ainsi des autres liquides, toutes proportions gardées.

Ce que l'esprit de vin est à l'eau en volatilité, d'autres liquides pourront l'être à l'égard de l'esprit de vin. La liqueur chymique, connue sous le nom d'Ether *, paroît être de ce nombre. Elle est si volatile, que le doigt qu'on y a trempé, n'en est plus mouillé dans l'instant, & que jetée en l'air en petite quantité, elle disparoît & ne re-

* Mém. de l'Acad. 1734, *p. 41.*

tombe point. L'eau, qui fait ici le dernier terme de la comparaison, pourra faire le premier, & devenir à cet égard esprit de vin par rapport à d'autres liquides, tels que l'eau forte, &c. qui se trouveront aussi dans le cas de différer infiniment plus de volatilité avec elle, que de pesanteur spécifique & de fluidité *.

L'Evaporation des liqueurs dans le vuide prouve peut-être encore plus directement leur volatilité propre ou leur mouvement intestin ; puisque le milieu ambiant, ou ce vuide, est censé n'avoir pas d'action sensible sur la liqueur. Je m'en rapporterai là-dessus aux expériences de M. Waller, qui ont été faites avec toutes les attentions possibles, dans le vuide le plus parfait de la machine Pneumatique, après la cessation des bulles, & l'évacuation réitérée de l'air contenu dans le liquide. Il suit de ces expériences, que l'eau, le vin, & les autres liqueurs s'évaporent dans le vuide indépendamment de toute cause externe, comme le choc & le contact de l'air : sans compter plusieurs autres conséquences curieuses, sur la forme que prennent les particules de l'eau en s'évaporant, sur leur légèreté spé-

* Quant à la manière dont l'air enlève les parties d'un liquide, je n'en connois pas de meilleure explication que celle qu'en a donné M. Bouillet, & qu'on peut voir dans l'hist. de l'Acad. des Sciences, 1742, p. 18.

cifique ou relative, &c. qu'on peut voir dans ce Mémoire *.

CHAPITRE III.

Suite des Définitions, Principes, & Remarques ſur la nature des Fluides & des Liquides.

QUOIQU'IL y ait des corps, tels que la flamme, dont les parties ſont extrêmement agitées de bas en haut, & du centre vers la circonférence, par un mouvement de vibration ou de reſſort, ils ne ſauroient être appellés Liquides; ce ne ſont que des Fluides, parce que le mouvement en tout ſens, le poids, & peut-être d'autres circonſtances qui pourroient déterminer leurs ſurfaces ſupérieures au niveau, leur manquent.

Un liquide peut devenir fluide, ou compoſer un fluide par l'amas de ces parcelles, lorſqu'elles ſe détachent de la maſſe totale; comme on voit qu'il arrive à l'eau qui ſe réſout en vapeurs. Car les brouillards & les nuages ſont des corps ou des amas fluides, quoique formés de l'aſſemblage de parcelles liquides.

De même un fluide, proprement dit, peut

* *De aſcenſu vaporum in vacuo, demonſtratio.* Aut. Nic. Wallerio. Acta Litter. & Scient. Sueciæ, an. 1738.

devenir liquide, si l'on insère dans les intervalles des parties qui le composent quelque matière qui les agite en tout sens, & les détermine à se ranger de niveau vers la surface supérieure, à peu près comme il arriveroit à du sable qu'on jeteroit dans un grand vaisseau plein d'eau bouillante.

Et au contraire, si l'on imagine qu'en cet état une puissance supérieure à celle qui agite les grains de ce sable, vienne à les serrer & à les comprimer fortement l'un contre l'autre, en sorte qu'ils ne puissent plus ni glisser les uns sur les autres, ni être séparés par l'eau bouillante qui coule entr'eux; ce tout, cet amas de parties intégrantes qui formoient auparavant un liquide, ne sera plus qu'un corps dur, &, s'il m'est permis de parler ainsi, qu'une véritable glace.

J'explique soigneusement tous ces termes, afin qu'on y attache les mêmes idées que moi. En voici quelques autres dont l'explication me donnera lieu de proposer deux principes très-importans sur cette matière.

J'entends par les *parties intégrantes* d'un liquide & de chaque corps, les parties qui entrent dans sa composition selon le dernier degré de division actuelle où elles doivent être pour former un tel liquide ou un tel corps, & nullement selon le dernier degré de division possible où elles sont capables d'arriver : car la matière étant divisible à

l'infini, les parties intégrantes d'un Liquide, & celles de tout autre corps, ont elles-mêmes d'autres parties intégrantes qui les composent, & par lesquelles elles peuvent être divisées & subdivisées à l'infini. C'est ainsi du moins que nous devons le concevoir, quoique peut-être à l'égard de certaines substances, les forces actuelles de la Nature, dans la partie de l'Univers que nous occupons, soient insuffisantes pour pousser la division au delà.

Ce que j'appelle parties intégrantes dans les liquides, je l'appellerai *molécules* dans la matière subtile, avec cette différence que par les parties intégrantes d'un liquide, je n'entends que de petits amas de matière composés d'autres parties qui sont conçues en repos les unes à l'égard des autres; au lieu que je regarde les molécules de la matière subtile, comme de petits amas de matière extrêmement agitée, ou plûtôt comme autant de balons ou de petits tourbillons d'un fluide encore plus subtil qui tourne autour de leur centre ou de leur axe avec une rapidité indéfinie.

C'est la force que ces molécules tirent de cette agitation pour se dilater, & pour repousser autant qu'elles sont poussées, que j'appelle leur *ressort.*

Car d'un côté il est constant par mille expériences, que la matière subtile ou éthérée

a du reſſort, & de l'autre, ſi l'on veut raiſonner ſur des notions claires & diſtinctes, on ne conçoit pas que les corps puiſſent avoir d'autre force ni d'autre action que celle qu'ils tirent de leur mouvement. Il faut donc de néceſſité chercher à la matière ſubtile un mouvement qui puiſſe lui donner cette force qu'on nomme reſſort. Or on peut démontrer qu'il n'y en a point d'autre, intelligible, & capable de lui procurer cette propriété que celui que je viens de décrire, le mouvement de rotation ſur un axe ou autour d'un centre, & dont l'idée eſt dûe à l'un des plus célèbres Philoſophes de notre ſiècle *. De quelque manière cependant qu'on l'entende, il me ſuffit qu'on m'accorde le reſſort de la matière ſubtile, comme un fait que mille phénomènes nous indiquent; & c'eſt afin que chacun ait la liberté de l'imaginer comme il voudra, que je me ſers du mot vague de molécules, plûtôt que de celui de globules ou de petits tourbillons.

Un autre principe qui me paroît très-recevable, & qui doit ſon origine au même Auteur, c'eſt que la cohéſion des parties, la dureté des corps ou la réſiſtance que leurs parties apportent à leur déſunion, ne vient que de la matière ſubtile qui les environne & qui les comprime. Il eſt vrai que l'air

* Le P. *Malebranche*, 16e Eclairciſſ. ſur la Rech. de la Vérité. *Edit. 1712*.

contribue auſſi un peu à la dureté des corps par ſon poids; & perſonne n'ignore là-deſſus l'expérience des deux plans polis, ou des deux marbres creux appliqués l'un contre l'autre. Mais l'air ne comprime guères que les parties les plus groſſières de l'extérieur des corps; au lieu que la matière ſubtile ou éthérée, qui en pénètre aiſément tous les pores les plus étroits, lie avec force les plus petits amas de matière qui les compoſent. Ce ſera, ſi l'on veut, l'Attraction ramenée à un concept méchanique.

Suivant ces principes, les parties intégrantes d'un liquide ſeront plus ou moins dures, ſelon que la matière ſubtile les comprimera davantage, ou par la liberté & la vîteſſe avec laquelle elle ſe meut entr'elles, ou par la quantité & la qualité des ſurfaces qui joignent entr'eux les élémens ou parties encore plus petites qui compoſent les premières. Ces parties intégrantes ſont comme environnées de toutes parts de la matière ſubtile; elles y nagent, y gliſſent, & ſuivent en tout ſens les mouvemens qu'elle leur imprime, ſoit que le liquide ſe trouve dans l'air, ſoit qu'il ſe trouve dans la machine Pneumatique. C'eſt le plus ou le moins de cette matière enfermée dans un liquide, ſelon qu'elle a plus ou moins d'agitation & de reſſort, qui fait principalement le plus ou le moins de liquidité: mais le plus ou le

moins d'agitation de cette matière, communiquée au liquide, dépend de la grosseur, de la figure, de la nature des surfaces, planes, convexes ou concaves, polies ou raboteuses, & de la densité des parties intégrantes du liquide. Si 10 personnes autour d'une table peuvent y être rangées de 3628800 manières différentes, ou faire 3628800 changemens d'ordre, on doit juger quelle prodigieuse quantité de liquides différens pourront produire toutes les combinaisons & toutes les variétés des circonstances dont je viens de parler.

CHAPITRE IV.

D'où vient que les Liquides ne se dissipent pas en un instant, & que leurs parties résistent un peu à la désunion; & comment se conserve l'équilibre entre ces parties, la matière subtile qui les environne & qui les pénètre, & la matière subtile du dehors!

MAIS approfondissons un peu la méchanique des Liquides : ce n'est qu'à proportion qu'elle sera plus connue, qu'on pourra mieux découvrir la véritable cause du changement qui leur arrive dans la Congélation.

Comment ſe peut-il que leurs parties intégrantes étant ſi agitées par la matière ſubtile, elle ne les diſſipe pas en un moment? Voilà, par exemple, un verre à demi-plein d'eau: on voit bien que cette eau eſt retenue vers les côtés & au deſſous, par les parois du verre; mais qu'eſt-ce qui la retient au deſſus? Car par la définition des liquides, ils doivent toûjours avoir quelques parties intégrantes qui ſe meuvent vers le haut; & telle partie, par exemple, étoit pouſſée dans cet inſtant vers les côtés, ou vers le fond du vaiſſeau, qui va tendre vers l'ouverture dans l'inſtant qui ſuit? J'avoue que le poids de l'atmoſphère, ou la colonne d'air qui appuye ſur la ſurface de cette eau, la retient en partie; mais le même liquide qui ſe conſerve dans l'air, ne ſe conſervant pas moins dans la machine Pneumatique après qu'on en a pompé l'air, il faut avoir recours à une autre cauſe.

D'où vient encore la viſcoſité qu'on remarque dans tous les liquides, plus ou moins? cette diſpoſition que les gouttes qu'on en détache ont à ſe rejoindre, & cette légère réſiſtance qu'elles apportent à leur ſéparation, & par laquelle il ſemble qu'elles n'obéiſſent que par extenſion à la violence qui leur eſt faite?

De plus, il n'y a point d'apparence que la matière ſubtile enfermée dans les interſtices

d'un liquide, non plus que les parties qui le composent, se meuve avec la même vîtesse que la matière subtile extérieure ; de même à peu près que les vents qui pénètrent jusque dans le milieu d'une forêt, s'y trouvent considérablement affoiblis, & que les feuilles & tout ce qu'ils y rencontrent y est beaucoup moins agité qu'en rase campagne. Or comment se conserve l'équilibre dans ces différens degrés de vîtesse des parties intégrantes d'un liquide, de la matière subtile du dedans & de la matière subtile du dehors!

J'avoue que ces difficultés m'ont paru embarrassantes ; mais, si je ne me trompe, j'en ai trouvé le dénouement, & il est comme le lemme fondamental de tout ce qu'il y a de plus important à connoître pour la formation de la glace.

Premièrement, les parties d'un liquide ne sont pas exemptes de pesanteur, ou d'*inertie*, & elles en ont, de même que tous les autres corps, à raison de leur masse & de leur matière propre : c'est-à-dire, que tout corps, indépendamment de la Pesanteur, imaginé sur un plan horizontal infiniment poli, exige d'autant plus de force pour être mû avec une certaine vîtesse, qu'il a plus de masse. C'est ce qu'on appelle *force d'inertie*, quelle qu'en soit la cause dont nous n'avons point à nous embarrasser ici, non plus que de celle de la Pesanteur. Cette pesanteur ou cette inertie

est

eſt une des puiſſances qui aſſujétiſſent le liquide dans le vaſe où il eſt contenu.

Secondement, il ne faut pas croire que la matière ſubtile environne les parties intégrantes d'un liquide, de manière qu'elles ne ſe touchent jamais entr'elles, & ne gliſſent jamais les unes ſur les autres, ſelon qu'elles ont des ſurfaces plus ou moins polies, & qu'elles ſont mûes avec plus ou moins de vîteſſe. Il eſt très-probable au contraire que les parties intégrantes de la plûpart des liquides, tels que l'eau, l'huile, le vin, &c. ne ſe meuvent guère autrement. Or ces parties préſentent d'autant moins de ſurface à la matière ſubtile intérieure, qu'elles ſe touchent par plus d'endroits; & celles qui ſe trouvent vers les extrémités lui en préſentent encore moins que les autres, puiſqu'elles ont un côté vers le dehors: elles en préſentent donc davantage à la matière ſubtile extérieure; & comme cette matière a plus de liberté, & ſe meut avec plus de vîteſſe que l'intérieure, il eſt clair qu'elle doit avoir plus de force pour repouſſer les parties du liquide vers la maſſe totale, que la matière ſubtile intérieure n'en a pour les en ſéparer. Ainſi le liquide demeurera dans le vaiſſeau qui le contient, & de plus il aura quelque viſcoſité, ou réſiſtera un peu à la diviſion.

Pour les liquides fort ſpiritueux, dont les parties intégrantes ſont apparemment

preſque toutes noyées dans la matière ſubtile, ſans ſe toucher entr'elles que rarement, & par de très-petites ſurfaces, ils ſont en même temps & l'exception & la preuve de ce que je viens de dire, puiſqu'ils s'exhalent & ſe diſſipent bien-tôt d'eux-mêmes, ſi l'on ne bouche exactement le vaiſſeau qui les renferme.

Enfin, pour comprendre comment les parties des liquides ſe meuvent avec la matière ſubtile qu'ils contiennent, & comment l'équilibre ſe conſerve entr'elles, cette matière & la matière ſubtile extérieure, il faut obſerver que quoique chaque partie intégrante de certains liquides ſoit peut-être mille fois plus petite que le plus petit objet qu'on peut apercevoir avec le microſcope, il y a apparence que les plus groſſes molécules de la matière ſubtile ſont encore des millions de fois plus petites que ces parties. L'imagination ſe perd dans cette extrême petiteſſe; mais c'eſt aſſez que l'eſprit en aperçoive la poſſibilité dans l'idée de la matière, & qu'il en conclue la néceſſité par pluſieurs faits inconteſtables. Or cent de ces molécules, par exemple, qui viennent heurter en même temps, ſelon une même direction, & avec une égale vîteſſe, la partie intégrante d'un liquide un million de fois plus groſſe que chacune d'elles, ne lui communiquent pourtant que peu de leur vîteſſe;

parce que leurs cent petites masses sont contenues dix mille fois dans sa grosse masse, & qu'il faut pour y distribuer, par exemple, un degré de vîtesse, qu'elles fassent autant d'effort contr'elle, que pour en communiquer dix mille degrés à cent de leurs semblables: car 100 de masse multiplié par 10000 de vîtesse, & 1 de vîtesse multiplié par 1000000 de masse, produisent également de part & d'autre, 1000000 de mouvement, ou, comme on dit, de *moment*. Mais ces cent molécules de matière subtile sont bien-tôt suivies de cent autres, & ainsi de suite peut-être de cent millions: & comme celles qui viennent les dernières sur la partie du liquide, lui trouvent déjà une certaine quantité de mouvement que les premières lui ont communiqué, elles l'accélèrent toûjours de plus en plus; & à la fin elles lui donneroient autant de vîtesse qu'elles en ont elles-mêmes, si la matière subtile pouvoit toûjours couler sur cette partie avec la même liberté & selon la même direction. Mais la matière subtile se mouvant en divers sens dans le liquide, & la vîtesse que plusieurs millions de ses molécules peuvent avoir donnée à une partie intégrante du liquide, par une application continue & successive de cent en cent vers un certain côté, étant bien-tôt détruite ou retardée par plusieurs millions d'autres qui viennent choquer la même partie, selon des

directions différentes ou contraires ; il eſt évident que cette partie intégrante du liquide n'aura jamais le temps de parvenir à leur degré d'agitation, & qu'ainſi la ſupériorité de vîteſſe demeurera toûjours à la matière ſubtile. Cependant il n'eſt pas poſſible que cette vîteſſe ne ſoit fort diminuée par-là, & ne ſe trouve bien-tôt au deſſous de ce qu'elle eſt dans la matière ſubtile du dehors, qui rencontre bien moins d'obſtacles à ſes divers mouvemens ; obſtacles d'autant plus conſidérables, que la denſité du liquide eſt plus grande, que ſes parties intégrantes ſont plus groſſes, qu'elles ont plus de ſurface, & que ces ſurfaces ſont moins gliſſantes. Mais ce que la matière ſubtile perd de vîteſſe entre les interſtices d'un liquide, eſt compenſé par une plus grande tenſion du reſſort de ſes molécules, lequel augmente ſa force à meſure qu'il eſt plus comprimé : & c'eſt par-là que l'équilibre ſe conſerve entre les parties intégrantes du liquide, la matière ſubtile intérieure, & la matière ſubtile du dehors. C'eſt par l'action & la réaction continuelles & réciproques entre les parties du liquide & la matière ſubtile qu'il contient, & entre ce tout & la matière ſubtile extérieure, que les vîteſſes, les compreſſions, & les maſſes multipliées de part & d'autre, donneront toûjours un produit égal de force ou de mouvement, & ce mouvement & cet équilibre

ſubſiſteront tant que le liquide perſévérera dans ſon état de liquidité.

On voit donc que les parties intégrantes d'un liquide ſont ce qui s'y meut avec le moins de vîteſſe ; enſuite c'eſt la matière ſubtile qui coule entr'elles, qui eſt plus agitée qu'elles ; & enfin vient la matière ſubtile extérieure, dont l'agitation paſſe celle de tout le reſte, & de la vîteſſe de laquelle on peut ſe faire une idée, par les effets qu'elle produit dans la poudre à canon, dans le tonnerre, & vrai-ſemblablement dans l'électricité.

CHAPITRE V.

Formation de la Glace.

QUE reſte-t-il maintenant pour comprendre de quelle manière ſe fait la congélation ? Voulez-vous faire de la Glace, c'eſt-à-dire, voulez-vous changer un corps liquide, tel que l'eau, en un corps ſolide ? Chaſſez une partie de la matière ſubtile qui coule entre ſes interſtices, diminuez ſon mouvement ou affoibliſſez ſon reſſort, en ſorte qu'elle ne puiſſe plus vaincre la réſiſtance des parties intégrantes du liquide ; c'eſt tout ce que fait le froid, & vous aurez de la Glace. Voulez-vous au contraire changer un corps très-dur, du verre ou du bronze, en un corps liquide, le dégeler ? Introduiſez une quan-

tité ſuffiſante de matière ſubtile dans ſes pores, ou augmentez aſſez le mouvement ou le reſſort de celle qui s'y trouve enfermée, pour qu'elle puiſſe ſéparer les parties qui s'uniſſent par leurs ſurfaces, ou débarraſſer celles qui s'entrelacent par leurs rameaux: vous ferez ce que fait la chaleur, & vous aurez un Liquide *.

Enfin, il ne s'agit plus, pour découvrir tout l'artifice de la Nature dans la formation de la Glace, que de comparer ce qui a été dit des Liquides, avec les changemens que le froid & le chaud peuvent faire ſur la cauſe de leur liquidité, je veux dire ſur la matière ſubtile.

CHAPITRE VI.

Idée générale du chaud & du froid, de l'été & de l'hiver, appliquée à la formation de la Glace.

LE chaud & le froid, comme les couleurs, les ſons, les ſaveurs & les odeurs, ſont ce qu'on appelle des *qualités ſenſibles*, que l'on ne confond que trop ſouvent avec les ſenſations que les corps doués de ces qualités excitent en nous. Il ne faut cependant qu'avoir un peu réfléchi ſur ſoi-même, &

* *Tum Glacies æris flammâ devicta liqueſcit.* Lucret. lib. 1.

ſur tout ce qui nous environne, pour être pleinement convaincu qu'il n'exiſte rien dans les corps, en tant que tels, qui reſſemble le moins du monde à ce que nous ſentons lorſqu'ils frappent nos ſens, ſoit immédiatement, ſoit par le moyen de quelque fluide qui ſe trouve entre eux & nous. Configuration de parties, mouvement ou repos, vibrations communiquées au fluide ambiant, c'eſt tout ce qui appartient aux corps prétendus chauds ou froids, lumineux, colorés, ou ſonores. Les parties *calorifiques* ou *frigorifiques* ſont autant de chimères enfantées par l'imagination, dès qu'on les fait conſiſter en quelque choſe de plus que ce que nous venons de dire. Le froid abſolu eſt un être purement négatif, comme le repos, ou l'obſcurité ; & le froid en général n'eſt qu'une moindre chaleur ou un moindre mouvement de la part de la matière ſubtile ou du fluide quelconque qui conſtitue le feu ou la chaleur. Ainſi l'on peut dire que les glaces d'Italie ſont chaudes, par rapport aux glaces du Groenland, parce qu'elles ſont moins froides, & en quelque ſorte moins glace : car comme il eſt démontré qu'il n'y a pas de repos abſolu dans la Nature, il l'eſt de même qu'il n'y a pas de froid abſolu. C'eſt à cette idée ſimple du chaud & du froid qu'on réduira toutes celles qu'on peut ſe former ſur ce

ſujet, lorſqu'on voudra l'approfondir, quelqu'opinion qu'on embraſſe d'ailleurs ſur la cauſe phyſique de la chaleur, & ſur la matière du feu élémentaire, pourvû que cette opinion ſoit intelligible.

Le Soleil peut être regardé en ce ſens comme la ſource la plus féconde, comme le grand réſervoir de la chaleur des Planètes qui circulent autour de lui, & ſur-tout de la partie extérieure qu'elles préſentent à ſes rayons : quoique ces planètes puiſſent contenir un feu central, ou intérieur quelconque, un fonds de chaleur indépendant de la viciſſitude des ſaiſons, & qui ſurpaſſe même de beaucoup la chaleur actuellement communiquée par le Soleil ; ainſi que pluſieurs phénomènes nous l'indiquent, & que nous l'expliquerons dans la ſuite. Mais en général, ce ſont les rayons du Soleil qui produiſent cette alternative de chaud & de froid que nous éprouvons ſelon diverſes circonſtances, & principalement à l'occaſion des différentes ſaiſons de l'année.

Or la chaleur extérieure qui nous vient du Soleil peut être affoiblie de trois manières ; ou par l'éloignement de ſa ſource, ou par la poſition oblique & déſavantageuſe des ſurfaces qui reçoivent ſes rayons, ou enfin, par l'interpoſition des vapeurs & d'une atmoſphère épaiſſe & profonde qui nous intercepte en partie ſes rayons.

C'eſt de la première manière qu'apparemment il fait moins chaud ſur la planète de Saturne que ſur notre Globe ; parce que cette planète eſt environ dix fois auſſi éloignée du Soleil que nous : ce qui, toutes choſes d'ailleurs égales, doit procurer à Saturne cent fois moins de chaleur qu'à la Terre ; ſavoir, en raiſon du quarré de ſa diſtance au Soleil. Je dis apparemment, & toutes choſes d'ailleurs égales ; parce que ſi la chaleur centrale ou intérieure quelconque y a lieu, comme nous le démontrerons de la Terre, & qu'elle y ſoit, par exemple, en raiſon de la maſſe, ou de la grandeur de la planète, ou en tel autre rapport, il eſt très-poſſible qu'il faſſe autant ou plus de chaud ſur la ſurface de Saturne, que ſur celle de la Terre. Ainſi ce n'eſt pas ſans reſtriction qu'il faut entendre ce qu'a dit M. Newton, que *ſi notre Globe étoit porté à la place de celui de Saturne, notre eau s'y glaceroit, & qu'à la place de celui de Mercure, elle s'exhaleroit en vapeurs* *.

Mais c'eſt de la ſeconde & de la troiſième manière, qu'en général il fait moins chaud ou plus froid dans nos climats en hiver qu'en été, & dans les Zones glaciales, que dans les Zones tempérées & torride ; parce que les rayons du Soleil ſont reçus plus obliquement ſur la terre en hiver qu'en été, &

* Newt. *Princip. l. 3. pr. 8. cor. 4.*

ſur les zones glaciales ou tempérées, que ſur la zone torride. Par-là il en tombe d'autant moins ſur le terrein, en raiſon des ſinus de leur obliquité, & ceux qui y tombent y ſont un effort d'autant moindre; ce qui donne la raiſon doublée de ces ſinus. D'où il ſuit, que l'action des rayons ſolaires ſur un plan horizontal, ou ſur la ſurface ſuppoſée plane d'un pays, à un inſtant donné, par exemple, à midi, eſt proportionnelle au quarré des ſinus du complément de latitude de ce pays.

Cette obliquité eſt cauſe encore que les rayons ſolaires ſont interceptés en partie par une plus grande quantité d'air. Car comme une aiguille qu'on enfonceroit obliquement dans une orange, auroit plus d'écorce à percer, que celle qu'on y enfonceroit perpendiculairement & vis-à-vis du centre; de même le Soleil regardant les zones glaciales & les lieux qui ont l'hiver, plus obliquement que la zone torride & les lieux qui ont l'été, ſes rayons ont à traverſer beaucoup plus d'air dans l'atmoſphère, & ils ſont plus affoiblis par cette cauſe, & par la précédente, que fortifiés par la première ou par le plus de proximité; quoique ce plus de proximité aille à environ la trentième partie du plus grand éloignement, c'eſt-à-dire, à près d'un million de lieues: ce qui fait une diſtance près de mille fois plus

grande, que celle qu'il y a de la zone torride aux zones glaciales.

Avec ces idées du chaud & du froid, remettons-nous devant les yeux un liquide tel que je l'ai dépeint ci-dessus. Supposons-le d'abord dans un lieu assez chaud, pour lui conserver sa liquidité ou le mouvement de ses parties intégrantes; & souvenons-nous de l'équilibre que la matière subtile engagée entre leurs intervalles, conserve avec elles & avec la matière subtile extérieure. Imaginons ensuite que le lieu où est ce liquide vienne à se refroidir peu à peu, jusqu'au degré nécessaire pour la congélation. Le mouvement de la matière subtile extérieure diminuera donc aussi peu à peu, & par conséquent elle ne sauroit se trouver en équilibre avec celle qui est dans le liquide, & qui communique avec elle par une infinité d'issues & de pores, sans que celle-ci ne diminue, à proportion de sa vîtesse & de son ressort. Car dès que la matière subtile intérieure sera moins comprimée par celle du dehors, & qu'elle deviendra la plus forte, elle doit s'échapper du côté où elle trouve le moins de résistance, c'est-à-dire, vers les extrémités & hors du liquide.

Il arrive quelque chose de tout-à-fait semblable, lorsqu'après avoir enfermé de l'eau ordinaire dans la machine pneuma-

tique, on vient à en pomper l'air. Car à chaque coup de pompe, l'air qui appuyoit ſur la ſurface de l'eau ſe trouvant plus rare & plus lâche, parce qu'il eſt en moindre quantité, il comprime d'autant moins l'eau & l'air qu'elle contient entre ſes interſtices, c'eſt pourquoi celui-ci ſe dégage par ſon élaſticité, il ſort de l'eau pour paſſer dans le récipient, où il eſt beaucoup plus au large; & ſa ſortie eſt viſible, par l'ébullition qu'elle cauſe à la ſurface ſupérieure de l'eau.

Tout de même la matière ſubtile extérieure venant à diminuer de vîteſſe & de reſſort, il faut qu'une partie de celle qui étoit renfermée dans le liquide en ſorte; & cette effuſion doit continuer, juſqu'à ce que le nombre, la tenſion & la vîteſſe des molécules de celle qui y reſte, ſoient diminuées au point néceſſaire, pour demeurer en équilibre avec la matière ſubtile du dehors. Or les parties intégrantes du liquide ne tenant leur mouvement que de la matière ſubtile qui les environne, il eſt clair que leur mouvement doit diminuer avec celui de cette matière. De-là naiſſent de plus grands frottemens entre leurs ſurfaces; parce que ces parties ſe rapprochent d'autant plus, ou deviennent d'autant plus denſes, que les molécules qui doivent les tenir ſéparées, ou les faire gliſſer les unes ſur les

autres, ont moins de vîteſſe & de reſſort. Ainſi le liquide diminuera un peu de volume, & commencera à s'engourdir & à être moins coulant. Mais ſi le froid augmente toûjours, les frottemens & la denſité augmenteront avec lui, parce que l'agitation & le reſſort de la matière ſubtile intérieure, qui devoit les vaincre, diminuent; & il y aura bien-tôt pluſieurs des parties intégrantes du liquide qui s'appliqueront les unes ſur les autres, qui s'accrocheront ou s'entrelaceront, ſi elles ſont crochues ou rameuſes, ſans qu'elles puiſſent plus être ſéparées par le choc, ou par le reſſort des molécules affoiblies qui viennent encore les heurter. Les premiers aſſemblages de ces parties ſe trouveront vers les bords du liquide, & vers la ſurface; car c'eſt-là que l'effuſion de la matière ſubtile intérieure, & l'affoibliſſement de ſon reſſort doivent commencer: mais ſi l'augmentation du froid continue, ou ſeulement ſi le froid perſévère dans un certain degré, à ces parties aſſemblées il s'en joindra bien-tôt d'autres, ſavoir, celles qui en ſeront les plus voiſines, à celles-ci d'autres encore, & enfin toute la maſſe du liquide demeurera fixe & immobile, elle ſera dure, elle occupera moins d'eſpace, en un mot elle ſera glacée.

Ce n'eſt pas ici le lieu de parler des exceptions qu'il pourroit y avoir dans ces

circonſtances à l'égard de certains liquides ; par exemple, de l'augmentation de volume dans la congélation de l'eau : elles dépendent, comme je le ferai voir dans la ſeconde partie, de certaines cauſes particulières, & je ne traite ici que de ce qui convient au plus grand nombre de liquides. J'envisage préſentement la formation de la Glace de la manière la plus générale qu'il m'eſt poſſible, & que je crois auſſi la plus importante & la plus curieuſe.

CHAPITRE VII.

Par quels degrés on peut imaginer que la matière ſubtile diminue d'activité dans un liquide qui ſe gèle.

REMARQUONS pour une plus parfaite intelligence de la formation de la Glace, qu'il s'en faut bien que la matière ſubtile enfermée dans le liquide, & que nous avons remarqué ci-deſſus devoir être beaucoup moins agitée que celle du dehors, conſerve toûjours un même rapport d'agitation & de reſſort avec la matière ſubtile extérieure, lorſque le mouvement de celle-ci diminue. Car ſi l'on veut y regarder de près, on verra que la diminution de vîteſſe de la matière ſubtile intérieure, doit

être avec la diminution de vîteſſe de l'extérieure, en raiſon compoſée, 1° de la diminution de vîteſſe de cette dernière; 2° de l'augmentation des ſurfaces des parties intégrantes du liquide, c'eſt-à-dire, du plus grand nombre de ſurfaces qui viennent à ſe toucher & à gliſſer immédiatement les unes ſur les autres, à meſure que l'agitation diminue; 3° de la plus grande denſité ou preſſion, laquelle naît de l'affoibliſſement de vîteſſe & de reſſort des molécules de la matière ſubtile intérieure, ſelon que les parties intégrantes du liquide s'approchent davantage & ſe touchent par plus d'endroits.

C'eſt-à-dire, que ſi la matière ſubtile du dehors diminue de 4 degrés de vîteſſe, par exemple, celle du dedans diminuera beaucoup plus que de 4 degrés. Le détail d'un cas particulier va rendre ſenſible la propoſition générale.

Suppoſons que le froid augmente d'un degré à chaque minute de temps, c'eſt-à-dire, que l'agitation de la matière ſubtile du lieu où eſt le liquide diminue à chaque minute, d'un degré. Cette diminution doit bien-tôt ſe communiquer à la matière ſubtile qui coule entre les interſtices du liquide, par les raiſons qu'on en a vûes. Mais puiſque la diminution de vîteſſe de cette matière ne ſauroit arriver, ſans que les parties intégrantes du liquide ne s'approchent

un peu & ne ſe touchent par plus de ſurfaces qu'elles ne faiſoient auparavant, en un mot, ſans qu'elles ne gliſſent les unes ſur les autres avec plus de difficulté ; cette même difficulté, ces nouveaux obſtacles & ces nouveaux frottemens ſont une nouvelle occaſion de diminution à la vîteſſe de la matière ſubtile intérieure : car c'eſt la même choſe que ſi elle avoit à vaincre de plus grandes maſſes & à les mettre en mouvement. Ainſi par la loi, qu'un corps perd de ſa vîteſſe ſelon qu'il en communique, l'augmentation de la maſſe ſur laquelle la matière ſubtile intérieure auroit à diſtribuer une certaine vîteſſe, feroit la diminution de ſa propre vîteſſe. Donc ſi l'augmentation des frottemens par l'augmentation des ſurfaces, eſt devenue égale, par exemple, à une augmentation de 2 de maſſe, il faudra multiplier la diminution précédente de 1 degré de vîteſſe, par 2 ; ce qui fait 2, & voilà la vîteſſe de la matière ſubtile intérieure diminuée de 2 degrés, tandis que la vîteſſe de celle du dehors ne vient de diminuer que de 1. Mais comme la difficulté des mouvemens du liquide augmente, non ſeulement en tant que ſes parties ſe touchent par plus de ſurfaces, mais auſſi ſelon que leurs ſurfaces ſont plus preſſées les unes contre les autres, c'eſt-à-dire, ſelon que la denſité du liquide eſt plus grande ; ſi l'on

égale la difficulté qui naît de cette augmentation de denſité à 3, il faudra encore multiplier la diminution précédente qui valoit 2, par 3; ce qui fait 6. De ſorte que la vîteſſe ou l'agitation des molécules de la matière ſubtile intérieure du liquide aura diminué de 6 degrés, tandis que l'agitation de celle du dehors n'a diminué que d'un degré.

Pour appliquer un pareil calcul à la ſeconde minute, il faut prendre garde que les augmentations de ſurface & de denſité doivent croître à proportion des diminutions précédentes de la vîteſſe : ainſi après avoir compté 2 d'augmentation de ſurface, & 3 d'augmentation de denſité pendant la première minute, il faudra peut-être compter 3 de ſurface, & 4 de denſité pour la ſeconde minute; ce qui donne douze degrés de diminution de vîteſſe pour cette ſeconde minute. C'eſt pourquoi l'on peut concevoir, par manière d'exemple, que les diminutions de chaque minute ſuivent quelque progreſſion ſemblable, 6, 12, 24, 48, &c. & qu'après la quatrième minute, l'agitation de la matière ſubtile extérieure n'ayant diminué que de 4 degrés, celle de la matière ſubtile intérieure aura diminué de 6, plus 12, plus 24, plus 48, c'eſt-à-dire, de 90 degrés.

On voit par-là combien la matière ſubtile du dehors, dans cette interruption conti-

nue & ſucceſſive de l'équilibre avec celle du dedans, doit gagner promptement des forces pour comprimer les parties intégrantes du liquide dont elle enveloppe toûjours de plus en plus la maſſe totale, à meſure qu'elles ſe touchent davantage intérieurement. C'eſt par-là auſſi que nous expliquerons en ſon lieu la promptitude avec laquelle la plûpart des liquides ſe glacent, en comparaiſon de la lenteur avec laquelle ils ſe dégèlent. La diminution d'activité & de reſſort de la matière ſubtile dans un liquide qui ſe gèle, y produit encore d'autres effets, tels que le dérangement des parties & des directions différentes entre ces parties, &c. dont nous parlerons dans la ſuite, après avoir établi les faits & les principes d'où l'on peut les déduire.

CHAPITRE VIII.

Des cauſes accidentelles & locales de la Congélation. Et premièrement du Nitre, & des autres ſels contenus dans les terres & exaltés dans l'air.

JE ne vois pas de véritable cauſe, de cauſe immédiate de la congélation des liquides, autre que celle que nous venons de donner dans les chapitres précédens, la

diminution de mouvement, de quantité ou de reſſort de la matière ſubtile contenue dans les liquides. Toutes les autres n'y contribuent qu'en tant qu'elles occaſionnent celle-ci, & elles ne ſont, à proprement parler, que des cauſes moyennes & accidentelles. Il y en a donc autant de ces dernières, qu'il peut y avoir de manières différentes d'affoiblir l'activité de la matière ſubtile. Je ne toucherai que les plus générales.

Nous en avons déjà vû ci-deſſus trois de ce genre; ſavoir, l'éloignement du Soleil, l'obliquité de ſes rayons, la quantité d'air ou de vapeurs qu'ils peuvent avoir à traverſer. Mais il y en a encore quelques autres plus ou moins fréquentes, ou plus étendues, ſelon le climat, le terrein, & quelques autres circonſtances.

Je mets de ce nombre le Nitre ſubtil qui ſe répand quelquefois dans l'air, & qui y cauſe, même au milieu de l'été, un froid ſi violent, que les rivières & les lacs en ſont glacés : car rien n'eſt ſi ordinaire, que de voir arriver ces promptes gelées dans les pays dont le terrein contient beaucoup de nitre & de ſalpêtre; comme, par exemple à la Chine, & dans la Tartarie Chinoiſe. Il y a dans le royaume de la Chine telle province auſſi proche de l'Equateur que le Portugal & la Sicile, où il ne faut que creûſer la terre à trois ou quatre pieds de

profondeur, pour en retirer *des mottes toutes gelées, & des monceaux de glace*, dans les mois de Juillet & d'Août. *(a)*

La plûpart des sels fossiles, & sur-tout le sel ammoniac, lorsqu'il s'en trouve dans les terres, produisent de semblables effets. M. de Tournefort rapporte, qu'étant autour d'Erzerom ville capitale de l'Arménie, il y vit fréquemment de la glace, & y éprouva un très-grand froid, tout proche du solstice d'été. *(b) L'eau*, dit-il, *dans laquelle nous avions mis nos plantes, pour les conserver, & pour les décrire le lendemain,* (20me Juin) *se gela la nuit de l'épaisseur de deux lignes, quoiqu'elle fût à couvert dans un bassin de bois. Je crois*, ajoûte-t-il, *qu'outre le sel fossile, qui n'est pas rare dans ces quartiers, la terre est pleine de sel ammoniac, qui entretient les neiges pendant dix mois de l'année sur des collines à peu près semblables au Mont-Valérien.* Où il faut remarquer qu'Erzerom n'est tout au plus qu'au 40me degré de latitude.

Ce qui se passe en grand dans ces provinces de la Chine & de l'Arménie, peut

(a) Dans la province de *Leaòtum*, entre les 38 & 42 degrés de Latitude. *Voyage de l'Empereur de la Chine dans la Tartarie occidentale en 1683.* Recueil des Voyages au Nord, *T. III, p. 329.* Voyez sur la Tartarie Chinoise, l'*Atlas Sinens.* du P. Martini.

(b) Voyage du Levant. Lett. XVIII à M. de Pontchartrain.

être obſervé en petit dans les endroits où l'on fait *torréfier* la mine de cuivre. La quantité prodigieuſe de corpuſcules ſalins vitrioliques qui s'en élèvent avec la fumée, & qui ſe répandent dans l'air à une ou deux lieues à la ronde, y produit un froid extrême, que les Mineurs & les habitans du pays ne manquent pas d'attribuer à cette cauſe. C'eſt ce qui m'a été particulièrement aſſuré des mines de Fahlun * ou de Coperberg en Suède, dans la Dalécarlie, pays d'ailleurs très-froid par lui-même, mais où cette circonſtance locale augmente ſenſiblement les rigueurs du climat.

La fameuſe Grotte de Franche-Comté, à cinq lieues de Beſançon, vulgairement appellée *la Glacière*, nous fournit un autre exemple de ces cas particuliers. En été il y fait un froid inſupportable; le fond en eſt couvert de 3, 4 à 5 pieds de glace, ſelon la quantité d'eau qui y eſt tombée de la voûte, & le dégel n'y commence que vers le mois de Septembre. M. Billerez Profeſſeur d'Anatomie & de Botanique à Beſançon, qui envoya une relation de cette grotte à l'Académie des Sciences, en ayant examiné le dedans & les environs, en donne pour raiſon, *que les terres du voiſinage, & ſur-tout*

* Par M. Camus, qui le tenoit des officiers de ces Mines, dans ſon voyage à Torno, pour la meſure de la Terre.

celles du dessus de la voûte, sont pleines d'un sel nitreux, ou d'un sel ammoniac naturel. Ces sels, dit-il, *mis en mouvement par la chaleur de l'été, se mêlant plus facilement avec les eaux qui coulent par les terres & par les fentes du rocher, pénètrent jusque dans la grotte; ce mélange les glace précisément de la même manière que se font les glaces artificielles, & ce qu'est un petit vase dans cette opération, la grotte l'est en grand**. L'Académie a reçu depuis une description de cette grotte beaucoup plus exacte, plus détaillée, & accompagnée de remarques curieuses, par M. Cossigny, Ingénieur en chef à Besançon, & Correspondant de la Compagnie. Il y a, sans doute, beaucoup à rabattre de tout ce qui se dit de merveilleux de cette grotte; mais l'observation & la conjecture de M. Billerez subsistent quant au fonds, & à l'usage que nous en faisons présentement.

Sa comparaison des glaces artificielles, qu'on fait par le moyen des sels, est très-juste, & m'oblige, en l'adoptant, à anticiper ici sur ce que j'aurai à dire de ces sortes de glaces. On y verra que le sel ammoniac, le sel marin & le salpêtre refroidissent non seulement la glace dont ils occasionnent la fonte, mais aussi l'eau pure où ils sont mêlés & dissous, & qu'en certains cas ils la refroidissent bien au delà du terme de la congé-

* Hist. de l'Acad. 1712. *p. 23.*

lation, quoiqu'ils l'empêchent de se geler. Or on doit concevoir que plusieurs molécules de terre humides, plusieurs petits amas ou filets d'eau imprégnés de ces sels, se trouvant extrêmement refroidis dans la terre par ces sels, comme le mélange de sel & de glace, employé aux glaces artificielles, refroidissent à peu près de même toutes les particules d'eau pure qu'ils entourent, & les congèlent. Et voilà très-vrai-semblablement comment dans des climats tempérés & pendant que la chaleur se fait sentir dans tous les lieux d'alentour, se forment de proche en proche *ces mottes toutes gelées, & ces monceaux de glace,* qu'on retire de la terre dans les pays où elle contient beaucoup de ces sels.

Quant aux corpuscules salins, nitreux & ammoniacaux répandus dans l'air, soit qu'ils s'y exaltent du terrein même du pays, ou qu'ils y soient apportés des pays voisins par les vents, ils doivent aussi refroidir l'air, non seulement parce que la froideur du terrein s'y communique en partie, que la région inférieure de l'atmosphère est presque toûjours plus ou moins chargée d'eau ou d'humidité, & que c'est, comme nous venons de dire, une des principales propriétés des sels, de refroidir l'eau où ils sont mêlés, mais encore par la raison qui suit.

L'air est, selon toute apparence, un fluide branchu & rameux, & l'atmosphère, comme

un composé *de petites lames à ressort, soit spirales, soit de telle autre figure qu'on voudra, la plus propre* à leur donner du ressort *; car c'est de leur ressort qu'on peut conjecturer la manière dont elles sont faites.

Imaginez au contraire les parties intégrantes de la plûpart des sels, comme de petites pyramides, droites, roides & aigues, comme des aiguilles anguleuses, ou des lancettes tranchantes. On les juge ainsi par le picottement qu'ils excitent sur les fibres du palais, & sur les papilles nerveuses de la langue, par les esprits qu'on en retire, qui sont de forts & prompts dissolvans, par les figures qu'ils affectent dans leurs crystallisations, &, si l'on en croyoit quelques Observateurs, par la figure même qu'on a vû qu'ils avoient, par le moyen du microscope.

Cela posé, imaginons qu'une grande quantité de corpuscules salins viennent à s'exalter, & à se répandre dans l'air, soit par la chaleur du Soleil, soit par telle autre cause qu'on voudra. Ce seront tout autant de clous ou de petits dards qui s'enfonceront & s'embarrasseront entre les rameaux de l'air ou entre ses lames spirales; & réciproquement, ces rameaux & ces lames étant embarrassées par eux, se joindront plusieurs ensemble, feront des pelotons plus gros & plus serrés qu'auparavant, & cet air &

* Hist. de l'Acad. des Sc. 1702, p. 2, &c.

ces

ces corpuſcules nitreux formeront un tout moins fluide & plus denſe. C'eſt ainſi que l'eſprit de nitre, ou ſeulement la fumée qu'il produit dans certaines diſſolutions, fige l'huile d'olive, & la réduit en ſubſtance de graiſſe ou de ſuif; parce que vraiſemblablement les parties de l'huile ſont branchues & rameuſes comme celles de l'air. Or que l'activité communiquée par le ſoleil à la matière ſubtile, ſoit émouſſée par une plus grande épaiſſeur d'atmoſphère à traverſer, comme il arrive en hiver, ou par un aſſemblage d'air & d'autres corps qui forment un tout plus denſe, moins diviſible, & plus propre à éteindre le mouvement du fluide qui ſe meut entre ſes interſtices & qui le pénètre; que ce ſoit, dis-je, par telle de ces deux cauſes qu'on voudra, que la matière ſubtile ſe trouve affoiblie, c'eſt, quant à l'effet, une ſeule & même choſe. De l'affoibliſſement de la matière ſubtile ſuivra la congélation des rivières, des lacs, & des veines d'eau qui coulent près de la ſuperficie de la terre, ou de l'eau quelconque qui s'y eſt introduite.

Il eſt vrai qu'à l'égard de ces glaces qu'on trouve ſous terre en été, dans quelques provinces de la Chine, & dans pluſieurs autres pays encore plus méridionaux, il y a apparence qu'elles ſubſiſtent long-temps après que celles qui étoient expoſées à l'air libre

ſont fondues; car cet air y peut moins pénétrer, & lorſqu'il y pénètre, ce n'eſt qu'après s'être chargé d'une très-grande quantité de corpuſcules nitreux ou de tels autres ſels, en paſſant au travers d'une terre où ils abondent. Il en eſt de même des vapeurs & des exhalaiſons, qui pourroient fondre ces glaces : le nitre ne les embarraſſe pas moins, & conſéquemment toute la matière ſubtile ambiante en eſt engourdie. Il doit même arriver ſouvent dans ces endroits, que les glaces ſe fondent plûtôt en hiver qu'en été : car dans l'été la chaleur du Soleil volatiliſe le nitre, & le met en état de s'incorporer & de s'embarraſſer avec l'air & avec les exhalaiſons de la terre, au lieu qu'en hiver ſes pointes s'affaiſſent plus aiſément les unes ſur les autres, & perdent par-là le degré d'activité néceſſaire pour pénétrer l'air & les exhalaiſons. Ainſi un froid modéré doit être plus propre à fondre les glaces ſoûterraines dans les pays abondans en nitre, ou en ſel ammoniac, qu'une extrême chaleur.

CHAPITRE IX.

Seconde cause accidentelle de la Congélation, le Vent.

DANS un temps froid & qui tend à la gelée, le vent sec contribue aussi beaucoup à la Congélation : car l'air qui se trouve en repos sur la surface d'un liquide, prend à peu près le degré de froideur de ce liquide. Or avant la congélation, ce liquide n'est pas au degré de froideur de l'air qui doit le glacer : donc l'air qui touche sa surface, & qui ne peut manquer de participer à sa température, n'est pas encore au degré de la congélation, & par conséquent il y laisse alors à la matière subtile plus de liberté de se mouvoir, que lorsque par la communication d'un air plus froid il sera devenu lui-même plus froid ou plus dense. Ainsi la matière subtile qui coule entre les interstices du liquide, & dont le mouvement est toûjours proportionné au mouvement de celle qui l'entoure immédiatement, n'est pas encore assez affoiblie pour permettre la congélation. Mais si l'on hâte la communication de la froideur à la surface du liquide, en chassant violemment l'air qui la touche, & en mettant à sa place un air plus froid & plus dense, & tel qu'il le faut pour procurer

la congélation, on affoiblira la matière ſubtile extérieure qui touche le liquide, & par ce même moyen, celle qui y eſt renfermée, laquelle doit toûjours diminuer de mouvement juſqu'à ce qu'elle ſoit abaiſſée au degré néceſſaire pour demeurer en équilibre avec la première. Cependant cet affoibliſſement n'iroit pas encore au degré de la congélation, ſi le nouvel air reſtoit en repos dans cet état; car il acquerroit & il retiendroit pendant quelque temps un peu de la chaleur qui étoit auparavant dans le liquide, & le tout, c'eſt-à-dire, ce nouvel air, la matière ſubtile qui y eſt engagée, & celle qui eſt dans le liquide, ſe mettroit à un degré moyen de froideur qui participeroit de la froideur précédente du liquide, & de la froideur répandue aux environs dans l'air extérieur. Mais ſi l'on continue à chaque inſtant de chaſſer l'air de deſſus la ſurface du liquide, & qu'on y en ſubſtitue toûjours un qui ſoit au degré de froideur néceſſaire pour la congélation, il eſt évident qu'à la fin il communiquera au liquide ſon degré de froideur, ou diminuera ſon mouvement juſqu'à la congélation.

Or c'eſt-là ce que fait le vent, il emporte continuellement l'air chaud ou moins froid qui étoit ſur la ſurface du liquide, pour ſe mettre à ſa place; & c'eſt par-là qu'il rend la congélation plus prompte. Ce n'eſt qu'en

chaſſant ainſi de deſſus notre peau une petite atmoſphère d'air échauffé par la chaleur du ſang & par la tranſpiration, qu'un éventail excite en nous le ſentiment de fraîcheur.

Bien des gens s'imaginent au contraire, que le vent eſt un obſtacle à la formation de la glace ; & il eſt vrai que lorſque le vent a beaucoup de priſe ſur une grande ſurface d'eau, comme ſur les fleuves, ſur les lacs & ſur les mers, il les empêche quelquefois de geler, en tant qu'il les agite, qu'il ôte à pluſieurs parties intégrantes du liquide le temps de s'unir, & qu'il ſépare par des ſecouſſes continuelles celles qui s'étoient déjà unies, & qui alloient bientôt former une croûte ſenſible de glace. Mais il eſt toûjours certain en général, que le vent doit accélérer la congélation, par la raiſon que nous en avons donnée.

Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à en faire l'expérience en même temps en deux lieux différens, & l'on verra combien l'eau expoſée à un vent ſec, dans un vaiſſeau médiocrement large, ſera plus promptement gelée que celle qu'on aura miſe à l'abri du vent, quoique le froid y ſoit le même, à ne conſidérer que la température actuelle & générale de l'air. Cela va quelquefois au point, que la même eau tranſportée d'une expoſition tranquille où elle étoit depuis quelques heures ſans geler, à une expoſi-

tion contraire, se glace dans la minute & presque dans l'instant.

Du reste on voit bien, que quand les vents ont passé par des montagnes couvertes de neiges, ou sur des terres fort nitreuses, ils en sont d'autant plus propres à produire & à hâter la congélation, & qu'ils deviennent alors une cause compliquée avec les précédentes.

On allègue en faveur de l'opinion commune sur les effets du vent par rapport à la congélation, que non-seulement le thermomètre ne baisse pas au vent, mais encore qu'il hausse, lorsqu'on en souffle la boule avec un soufflet.

Mais le thermomètre ne baisse pas au vent (du moins cela n'est-il guère sensible) parce que le verre ne permettant point le passage au nouvel air que le vent apporte, & le vent n'étant point par lui-même plus froid que l'air calme, la liqueur y est toûjours exposée au même degré de froid, tant que l'instrument est dans un air également froid, sans que l'agitation ou le calme y causent aucune altération. Et il hausse sensiblement lorsqu'on pousse de l'air contre la boule avec un soufflet *; parce que cet air est réellement plus chaud que celui qui étoit auparavant autour du thermomètre; soit à cause du lieu d'où est pris ordinai-

* Mém. de l'Acad. 1710, *p. 544. 546.*

rement le soufflet, soit à cause de la double agitation que reçoit cet air, par l'attraction & par la compression du soufflet, où il entre par une soupape, & d'où il sort par un tuyau étroit, & avec violence; car il faut soigneusement distinguer cette agitation & ce mouvement, pour ainsi dire, intrinsèque de l'air par l'action du soufflet, du mouvement général du vent qui n'est que le transport continu d'une grande masse d'air ou d'une partie de l'atmosphère d'un lieu à un autre.

Nous verrons encore mieux & sous un autre aspect dans la seconde partie, comment un air agité peut hâter la congélation des liquides, & un air tranquille la retarder.

CHAPITRE X.

Troisième cause accidentelle de la Congélation & des Gelées; la suppression ou la diminution des vapeurs chaudes qui s'élèvent du sein de la Terre.

VOICI une nouvelle cause de la congélation, & sur-tout des grandes gelées, moins visible, & par-là moins connue que les précédentes; mais, à mon avis, aussi réelle, aussi fréquente, plus efficace & plus générale, parce qu'elle tient au principe

intime & permanent de la ſtructure du globe terreſtre.

La ſuppoſition d'un ſoufffle central, ou de vapeurs chaudes qui s'élèvent continuellement du fond de la terre, étant admiſe, il eſt évident qu'on ne ſauroit les ſupprimer en tout ou en partie, ſans que la chaleur qui en réſultoit ſur la terre & dans l'air, n'en ſoit diminuée, ou, ce qui revient au même, ſans que le froid n'en ſoit augmenté. Si l'on ajoûte ce froid à celui que comportoit actuellement le climat, par la cauſe générale de la viciſſitude des ſaiſons, & par les circonſtances locales, il produira néceſſairement des effets proportionnels à ſon intenſité; & ſi cette intenſité eſt telle par elle-même, ou par ſa complication avec tout le reſte, qu'elle égale ou qu'elle ſurpaſſe dans ſon réſultat, le degré de froid de la congélation, il n'eſt pas moins évident que la gelée doit s'en enſuivre.

Il ne s'agit donc que de ſavoir ſur quelles preuves, ou ſur quel principe je fonde cette ſuppoſition.

CHAPITRE XI.

Du Feu central ou intérieur de la Terre; & des principaux phénomènes qui en dépendent.

PLUSIEURS auteurs très-éclairés, tant anciens que modernes, ont reconnu un feu central dans la terre, ou une chaleur quelconque très-profonde. Les uns & les autres en ont déduit l'explication de quantité de phénomènes; mais aucun, que je fache, n'en a établi l'existence & les effets de la manière qui fuit.

Je donnai en 1719 à l'Académie des Sciences un Mémoire qui fut imprimé parmi ceux de la même année, & qui a pour fujet *la caufe générale du froid en hiver, & de la chaleur en été.* Il eft démontré dans ce Mémoire, que la chaleur de l'été, dans le climat de Paris, au folftice d'été, en tant qu'elle réfulte de cette caufe, c'eft-à-dire, de l'action du Soleil fur la terre, eft à la chaleur de l'hiver, au folftice d'hiver, tout au moins comme *66* eft à 1.

Par les obfervations & les expériences immédiates de M. Amontons, fur la chaleur de l'été & de l'hiver dans le même climat, & aux folftices, la première eft à la feconde comme 60 eft à 51 $\frac{1}{2}$, ces nombres expri-

mant des pouces de son thermomètre, ou à peu près, en raison de 8 à 7. C'est-à-dire, *que le chaud qu'il fait aux rayons du soleil à midi dans le solstice d'été, ne diffère du froid qu'il fait quand l'eau se glace, qu'environ comme 6 0 diffère de 5 1 ½, ou 8 de 7, & que la même matière qui produit par son agitation les plus grandes chaleurs & les plus insupportables de notre climat, ayant alors 8 degrés de mouvement, elle en a encore 7, lorsque nous sentons un froid extrême* *.

Comment accorder des résultats si différens, le rapport de 66 à 1 d'un côté, & celui de 8 à 7 seulement de l'autre!

Il ne sera pourtant pas difficile de les concilier, si l'on considère, qu'il n'est question dans mon Mémoire, que de la cause générale & extérieure de la vicissitude des saisons, qui est le Soleil, & de la chaleur qui doit en résulter dans les deux solstices; au lieu que les observations & les expériences de M. Amontons, tombent sur la chaleur totale & absolue provenant du concours de toutes les causes quelconques, tant internes qu'externes, qui produisent la chaleur dans l'une & l'autre saison. C'est de là, & par une courte analyse, que je conclus qu'il y a donc par toute la terre un fonds de chaleur indépendant de la vicissitude des

* Hist. de l'Acad. 1702, *p.* 7.

ſaiſons : car des obſervations ſemblables qu'on a faites dans la plûpart des pays connus, & de ſemblables inductions que nous en pouvons tirer, ne permettent pas de douter que le même principe ne ſoit applicable à tous les pays, ſauf les modifications qu'y apportera peut-être la complication des autres cauſes, telles que la latitude & la ſituation du lieu, la nature du ſol, &c. C'eſt par-là, dis-je, & d'après les élémens de calcul donnés, que je trouve ce fonds permanent de chaleur pour le climat de Paris 393 fois plus grand que le degré de chaleur de l'hiver, en tant que celui-ci ne réſulteroit que de la cauſe générale de la viciſſitude des ſaiſons. Prenant donc cette chaleur de l'hiver pour l'unité, il y aura ordinairement dans le climat de Paris, une baſe, pour ainſi dire, de chaleur permanente, d'environ 393 degrés, ſur laquelle s'élève alternativement le degré unique de chaleur de l'hiver, & les 66 degrés de chaleur de l'été, produits par la cauſe générale de la viciſſitude des ſaiſons, & dont les ſommes ſeront à peu-près dans le rapport abſolu de 7 à 8 que donne l'obſervation immédiate. On en peut voir le détail & la démonſtration dans le Mémoire même.

Du reſte, que ce ſoit un feu véritablement central, ou très-profond, inné avec le Globe terreſtre, ou acquis, au moyen

des rayons du Soleil, qui échauffent toûjours également ou à peu près, un de ses hémisphères, c'est ce que je ne discuterai point ici; quoique bien des raisons me persuadent, qu'il tient à la structure interne de la Terre, & des planètes en général. Il me suffit que l'existence n'en soit pas douteuse.

La chaleur de ce feu se fait sentir dans les excavations profondes, & selon qu'elles sont plus profondes. Il ne faut pas creuser bien avant pour trouver d'abord une chaleur constante & qui ne varie plus, quelle que soit la température de l'air à la surface de la terre. On sait que la liqueur du thermomètre se soûtient toûjours sensiblement pendant toute l'année à la même hauteur dans les caves de l'Observatoire, qui n'ont pourtant que 84 pieds ou 14 toises de profondeur, depuis le raiz de chaussée; c'est pourquoi l'on fixe à ce point la chaleur moyenne ou tempérée de notre climat.

Cette chaleur se soûtient encore ordinairement, & à peu de chose près la même, depuis une semblable profondeur jusqu'à 60, 80 ou 100 toises, & au delà, plus ou moins, selon les circonstances, comme on l'éprouve dans les mines: après quoi elle augmente, & devient quelquefois si grande, que les ouvriers ne sauroient y tenir & y vivre, si l'on ne leur procuroit pas quelque

rafraîchiſſement, & un nouvel air, ſoit par des *puits de reſpiration*, ſoit par des chûtes d'eau *, & cela auſſi à cauſe des vapeurs nuiſibles dont il faut les garantir.

Je crois cependant que cette augmentation de chaleur, lorſqu'elle eſt bien ſenſible, & ces chaleurs inſupportables qu'on n'éprouve guère que dans les mines très-profondes & au delà de deux ou trois cens toiſes, ſont plûtôt l'effet des vapeurs ſulphureuſes, ou des feux réels qui s'allument en ces endroits par le conflict de l'air & de quelques autres circonſtances locales, que du plus de proximité du foyer central. Ce foyer, ou ce feu central, en eſt bien la cauſe, en tant qu'il s'exhale plus abondamment par des terres plus poreuſes, ou par de plus larges canaux; mais il ne l'eſt pas relativement à la diſtance & proportionnellement à ſon plus de proximité: car qu'eſt-ce que trois cens toiſes, par exemple, de plus ou de moins ſur plus de trois millions qu'en contient le rayon du Globe terreſtre? Ce n'en eſt pas la dix millième partie; & l'augmentation ou la diminution de chaleur qui en réſulteroit, n'iroit guère qu'à un cinq millième, en prenant le rapport inverſe des quarrés de diſtance, comme il convient à toute émanation centrale.

* Boyle, *de Temperie ſubterranearum regionum, ratione Caloris & Frigoris*. Boerhaave, *Chemia t. 1. De Aëre, &c.*

Si dans l'hypothèſe du feu véritablement central, les couches extérieures de la terre, c'eſt-à-dire, de trois ou quatre mille toiſes au deſſous de ſa ſurface, étoient d'une ſubſtance & d'un tiſſu homogènes, la chaleur, en tant qu'elle émaneroit de ce centre, & autant que nous pouvons en approcher, n'augmenteroit donc que par degrés inſenſibles, & lorſqu'elle augmente ſenſiblement, nous devons conclurre que ces couches ne ſont pas homogènes.

M. Micheli du Creſt, dans ſa *Deſcription de la Méthode d'un Thermomètre univerſel,* nous apprend, quoique dans un tout autre eſprit, qu'il avoit reçu le détail d'une obſervation faite à Ardinghem, entre Calais & Boulogne, dans une mine dont la profondeur eſt de 447 pieds, 74 $\frac{1}{2}$ toiſes, où deux de ſes thermomètres s'arrêtèrent préciſément au point de la température des caves de l'Obſervatoire.

Il y a quelques années que je priai M. de Genſane, Correſpondant de l'Académie des Sciences, & Directeur des Mines de Franche-Comté & d'Alſace, de faire là-deſſus quelques expériences ; il m'apporta peu de temps après des coupes & des deſſeins des mines de Giromagny, qui ſont au pied de la montagne nommée le Balon, à 3 lieues de Béfort dans la haute Alſace, & les obſervations qu'il y avoit faites avec le baromètre,

& ſur-tout avec le thermomètre. Il réſulte de ces dernières, qu'au mois de Décembre 1744, le thermomètre de M. de Reaumur étant, auprès de la mine, à 2 degrés au deſſus du point 0 de la congélation, il monta, étant mis à l'entrée du puiſard ou de la mine, à 8 degrés. Étant porté à 52 toiſes de profondeur verticale, il ſe ſoûtint à 10 degrés, c'eſt-à-dire, à peu près au tempéré des caves de l'Obſervatoire, & ainſi de ſuite, dans cet ordre,

Toiſes de profondeur.	*Degrés du Thermomètre.*
52	10
106	$10\frac{1}{2}$
158	$15\frac{3}{4}$
222	$18\frac{1}{6}$

Ce qui n'approche pas des grandes chaleurs de notre climat, & qui étant réduit à la réalité indépendante de nos ſenſations, ne formera qu'un accroiſſement très-peu conſidérable. Car ſoient 210 de ces degrés du thermomètre la partie qui répondroit à la baſe permanente de chaleur de notre climat, & que nous avons évaluée ſous un autre point de vûe à 393; la progreſſion précédente ſe changera en celle-ci,

Toises de profondeur.	*Degré de chaleur.*
52	210
106	210 $\frac{1}{2}$
158	215 $\frac{3}{4}$
222	218 $\frac{1}{6}$

Où le plus grand terme n'excède le plus petit que d'environ $\frac{1}{26}$. Excès que les moindres inégalités de consistance dans le terrein peuvent produire ; mais toûjours du côté du centre, d'où vient le plus de chaleur. Du reste, quoique le nombre 210 ne soit pas pris ici au hasard, & qu'il approche assez du véritable converti en degrés du thermomètre, je ne le donne cependant que par manière d'exemple, ne voulant pas entrer là-dessus dans un détail de calcul qui nous écarteroit trop de notre principal objet.

En rabattant le merveilleux, & la plus grande partie de ce qu'on nous rapporte de l'excessive profondeur des mines de sel de Villuzka en Pologne à deux lieues de Cracovie, il reste pour vrai qu'elles sont très-profondes, & qu'il y a toûjours dans cette espèce de gouffre, qui est fort vaste, un grand nombre d'habitans ou de travailleurs. Cependant on ne fait aucune mention de la chaleur qu'on y éprouve, & il y a grande apparence qu'elle est fort tempérée. Peut-être que les corpuscules salins répandus dans l'air qu'on y respire, contribuent à cette

température, conformément à ce que nous en avons dit dans un des chapitres précédens.

Quoi qu'il en soit, la chaleur égale & permanente qui règne dans toute cette couche assez épaisse du globe terrestre, depuis la profondeur des caves de l'Observatoire, ou telle autre, selon les circonstances des lieux, sera toûjours le signe le plus distinctif du feu central ou intérieur dont nous avons démontré la réalité. L'augmentation quelconque de chaleur depuis cette couche vers le centre, & constamment vers le centre, quelles qu'en soient les intensités, achève de le rendre palpable. Tout le reste se complique avec d'autres causes, avec la nature du terrein & les matières inflammables ou non inflammables dont il est composé, & sur-tout avec la direction & la distribution, ou accidentelle, ou organique, des canaux par où ce feu s'exhale. De-là des tremblemens de terre, par la rencontre fortuite du feu avec un air très-dense par sa profondeur, & subitement enflammé dans les cavernes soûterraines *. De-là les volcans qui existent actuellement, ou qui ont autrefois existé dans presque toutes les grandes montagnes; & de-là enfin la formation de la plûpart de ces montagnes: car il semble, à en juger par les vestiges qui nous en restent, que ce soit à ces points de la croûte extérieure du globe, que

* *Voy.* Mém. de l'Acad. des Sc. 1703, *p. 101.*

le feu a redoublé de force, & par où il s'eſt fait jour, en ſoûlevant & fracaſſant ces immenſes couches de rocher qui s'oppoſoient à ſes éruptions.

CHAPITRE XII.

Effets ſenſibles du Feu central dans la Mer, & ſur les eaux de la Mer.

LES expériences nous manquent ſur ce ſujet; cependant le peu que nous en avons, l'analogie qui règne dans tout ce qu'on vient de voir, & quelques faits particuliers, ne nous permettent pas de douter que la Mer ne ſe reſſente de cette chaleur centrale ou très-profonde que nous venons de démontrer & de décrire par rapport aux grands Continens.

M. le Comte Marſigli, à qui les Sciences ſont ſi redevables, nous apprend dans ſon Hiſtoire phyſique de la Mer, qu'*ayant plongé un thermomètre en divers lieux, & à diverſes profondeurs, dans les mois de Décembre, de Janvier, Mars & Avril, il trouva que la température à la profondeur de 10, 20, 30, 120 braſſes, étoit toûjours également de 10 ½ degrés, ou de 10 ¾**. Il le plongea auſſi au

* *Hiſt. phyſ. de la Mer, p. 16.* Ces expériences furent faites ſur le golfe de Lion, vers l'an 1709, avant & après, comme il paroît par l'Eloge de l'Auteur. *Hiſt. de l'Acad. des Sc. 1730, p. 139.*

mois de Juin, & je ne ſais par quelles circonſtances la liqueur y deſcendit 3 ou 4 degrés plus bas, ſelon la Table qu'il nous en a donnée. Mais quoi qu'il en ſoit, ces obſervations reviennent parfaitement à notre idée, par la chaleur ſenſiblement uniforme qu'elles donnent à la mer en différens temps, au deſſous de 10 braſſes ou 10 toiſes de profondeur, & juſqu'à 120 toiſes. Tout ce qu'il y auroit à deſirer, c'eſt que l'Auteur nous eût indiqué quelque terme fixe de chaleur ou de froideur auquel on pût rapporter les degrés de ſon thermomètre. Cependant on peut juger par l'inſpection de l'inſtrument même qu'il a repréſenté dans une de ſes planches, & à certaines marques qu'il y a ajoûtées, que ces $10\frac{1}{2}$ degrés de chaleur ne s'éloignent pas de ce que nous appellons le tempéré, & qu'il ſemble nous déſigner par le mot de *température* *.

Ce témoignage de M. le C. Marſigli eſt d'autant plus poſitif, qu'il eſt rendu en quelque ſorte contradictoirement à celui du fameux Boyle qui avoit traité *du fond de*

* Il y a une marque ſur ces $10\frac{1}{2}$ degrés, & la liqueur eſt pourtant arrêtée au $44\frac{1}{2}$me, 34 degrés au deſſous, comme ſi c'étoit-là le point où elle étoit ſur la Terre, avant que l'inſtrument fut plongé dans la Mer. Je crois qu'il vaudroit mieux encore faire ces expériences avec la Sonde de M. Hook, décrite dans l'*Eſſai d'Inſtructions ſur les Voyages, T. I. des Voyages au Nord*, ou ſemblable, par le moyen de laquelle on retirât de l'eau du

la mer, & *de la température des régions soûmarines*, mais, selon M. le C. Marsigli, d'une manière très-imparfaite, soit qu'il eût été prévenu *par la mort*, ou que *quelqu'autre accident qui ne nous est pas connu*, l'eût empêché d'y mettre la dernière main.

Voyons pourtant ce qu'a pensé M. Boyle sur le fait dont il s'agit. *C'est*, dit-il, *une erreur vulgaire* de s'imaginer *que les eaux les plus profondes de la mer soient toûjours très-chaudes;* & il croit au contraire, d'après plusieurs relations qu'il s'étoit procurées, qu'*en général la température des régions inférieures de la mer est froide.* Sur quoi j'ai à faire quelques remarques.

Selon notre théorie même, les eaux profondes de la mer ne sauroient être ordinairement très-chaudes, si, par très-chaudes, *(calidissimæ)* on entend que la chaleur de ces eaux surpasse de beaucoup la température qui résulte en général des émanations du feu central, & celle des eaux supérieures.

Je ne sais aussi ce que signifie, à l'égard de de cette région inférieure, la qualification de froide, *(frigida est)* tant que je n'aurai

fond de la Mer sans mélange, & en assez grand volume pour qu'elle conservât à peu près sa température dans l'intervalle du temps qu'on emploie à la monter, & qu'on y plongeât le thermomètre sur le champ; ou, au défaut d'une pareille Sonde, qu'on se servît d'un thermomètre dont la boule fût fort grosse, & la marche fort lente.

point un terme de comparaifon pour en évaluer la froideur; car peut-être n'eft-ce que ce que j'appelle la température réfultante du feu interne auprès de la furface du Globe.

De plus, par la loi inviolable d'hydroftatique, qu'il eft très-important de ne pas perdre de vûe, & qui fait ici la grande différence entre les continents & la mer, les eaux les plus chaudes, & par conféquent, toutes chofes d'ailleurs égales, les plus légères, doivent continuellement monter au deffus de celles qui le font moins. Ce qui donnera à toute cette grande couche liquide du Globe terreftre, une température à peu près égale, conformément aux obfervations de M. le C. Marfigli; excepté vers la fuperficie actuellement expofée aux impreffions de l'air, & où l'eau fe gèle quelquefois, avant que d'avoir eu le temps de defcendre par fon poids & par fon refroidiffement.

Je dis enfin, que M. Boyle n'ayant pas eu des obfervations où l'on ait employé le thermomètre, ayant parlé feulement d'après la fenfation toûjours relative & équivoque des plongeurs, ou d'après la froideur aquife de la fonde jugée au tact, foit à quelques toifes de profondeur dans les mers du Nord dont ils n'avoient pû foûtenir la froideur, foit à de plus grandes profondeurs dans les mers des Indes, on ne fauroit rien ftatuer

de fixe ni de concluant fur de pareilles expériences.

Il eft comme démontré, que fi le fond de la mer ne fe reffentoit pas des émanations continuelles du feu central, les eaux y feroient toûjours non feulement froides, & très-froides, à cent ou deux cens braffes de profondeur, & à plus forte raifon, à trois ou quatre cens *, mais encore abfolument glacées, comme les mers du Groenland & de la nouvelle Zemble dans le plus fort de l'hiver. Car 1° la furface de la mer ne fe glace dans ces pays circompolaires, que par le refroidiffement de l'air, & ce refroidiffement ne vient que de l'affoibliffement de la caufe générale & extérieure de la chaleur. 2° Cette caufe, l'action des rayons folaires, ne pénètre certainement pas d'ordinaire à plus de 10 ou 12 pieds de profondeur dans la terre, comme les glacières qui s'y maintiennent le juftifient. 3° Si nous ne faifions que comparer en cela la terre & l'eau, relativement à leurs pefanteurs fpécifiques, nous trouverions que les rayons du Soleil n'échaufferoient pas la mer au delà de 20, 25, ou 30 toifes de fa fur-

* On a filé la Sonde à cette profondeur, & bien au delà, fans trouver terre. Quelques Marins ont cru qu'elle ne pouvoit defcendre fi bas, ni à beaucoup près; mais c'eft un préjugé qui n'eft fondé fur aucune bonne raifon, & que l'expérience dément. Fournier, *Hydrographie, p. 607.* Marfigli, *ubi fup. p. 10.*

face. Mais donnons aux eaux de la mer le décuple, le centuple, s'il le faut, de cette épaiſſeur qu'exige la terre pour conſerver la froideur de la gelée, & cela, ſi l'on veut, en vertu de la tranſparence de ces eaux; quoiqu'elles la perdent, ou qu'on ne voie plus à travers au delà de 256 pieds 42 $\frac{2}{3}$ toiſes *, & que la tranſparence n'exclue ni la froideur, ni la congélation, puiſque la glace eſt tranſparente. Que ſera-ce à 2, 3 ou 4 cens toiſes de profondeur! Donc les eaux de la mer ſeroient toûjours glacées à de ſemblables profondeurs, ſi quelque feu encore plus profond ne les y entretenoit dans leur état de liquidité.

Il y a donc certainement ſous le baſſin de la mer un principe de chaleur, & de quelque manière qu'on l'entende, il y a du feu, puiſqu'il en ſort de toutes parts. Le baſſin de la mer a du moins, comme le reſte de la Terre, ſes volcans dont les éruptions ſe manifeſtent par la formation ſubite des nouveaux écueils, & par la naiſſance des Iſles encore fumantes; par les trombes marines, qui ne ſont vrai-ſemblablement qu'une ſuite de ces éruptions moins complètes, lorſque le ſoûlévement des terres du deſſus n'a pas été ſi étendu, ou n'a pû parvenir juſqu'à la ſurface de l'eau; par les veſtiges

* Eſſai d'Opt. ſur la grad. de la Lum. *par M. Bouguer, p. 85.*

de feu, les pierres calcinées & légères dont elle se couvre quelquefois tout à coup, *sur un espace de quatre ou cinq cens lieues*, à plusieurs centaines de lieues loin des côtes *(a)*, & sans qu'il y ait aucun volcan à la ronde; & enfin par le bouillonnement, vrai ou apparent, des eaux, soit qu'on y *sente une chaleur immodérée qui en défend l'accès*, comme il arriva autour du nouvel écueil qui parut en une nuit près de l'Isle de Santorin *(b)*, soit que cette espèce de bouillonnement ne vienne que des eaux plus chaudes du dessous, & par-là plus légères, qui montent sans cesse au dessus.

CHAPITRE XIII.

Autres effets du Feu intérieur quelconque de la Terre.

NE nous lassons point d'éclaircir par des exemples une matière si importante pour notre sujet, & si intéressante par elle-même.

Tout fluide qui tend à se dilater, quelle qu'en soit la cause, tend également à repousser ce qui s'oppose à ses dilatations: il est impulsif par cela même qu'il est expansif. Or, comme l'a montré M. Boerhaave

(a) Hist. de l'Acad. des Sc. 1743, *p. 32*.
(b) Hist. de l'Acad. des Sc. 1708, *p. 23*.

dans

dans sa Chymie, par mille raisons de théorie & d'expérience, de toutes les propriétés du feu la plus incontestable & la plus essentielle, c'est l'expansion. La vapeur chaude & subtile, cette atmosphère qui environne les corps solides brûlans ou échauffés, en un mot les émanations de tout feu central, seront donc aussi impulsives, & agiront perpendiculairement au corps échauffé; & celles de la Terre agiront encore ainsi par leur tendance de légèreté qui les dirige sans cesse en sens contraire aux impulsions de la pesanteur, comme la flamme. Une expérience très-familière réunit tous ces effets. On suspend au dessus d'un poêle une lame spirale de carte ou de papier, de manière que ses plans se présentent obliquement à la vapeur qui monte verticalement du fer ou de la brique, & la spirale, l'hélice, ou le moulinet tourne, & tourne d'autant plus vîte, que le poêle est plus échauffé. L'on se sert même de cette espèce de thermomètre pour y entretenir un feu égal. Ainsi, dis-je, les émanations du feu central ou intérieur quelconque de la terre, dont l'existence n'est pas douteuse, auront une impulsion sensible, quoiqu'invisible, sur tous les corps solides ou fluides qui environnent la terre; & si elles l'ont, elle se décélera, lorsque ces corps, solides ou fluides, & visibles, seront contraints de lui céder en tout ou en partie.

D'où vient la perpendicularité conſtante de la tige des plantes à l'horizon ? Leurs graines jetées en terre au haſard s'y trouvent tournées de mille façons différentes, par rapport à la partie qui doit germer & d'où ſort la *plantule*, obliquement, de haut en bas, plus ou moins ; & entre toutes ces ſituations dont le nombre eſt infini, celle qui dirigeroit préciſément ce germe en haut ou perpendiculairement à l'horizon, eſt unique. Cependant toutes ſortent perpendiculairement, leur tige naiſſante ſe plie, ſe coude, ſe redreſſe dans la terre, & remonte ſelon cette direction. Prennent-elles ſur un mur vertical ou ſur des lieux eſcarpés ; elles ſe redreſſent dans l'air, & pouſſent vers le zénit, comme ſi leur germe avoit été poſé ſelon cette direction dans un terrein horizontal. Des arbres ſont-ils abattus par un torrent, ou renverſés par la tempête, & couchés horizontalement ſur la terre ; leurs ſommités & leurs branches les plus flexibles repouſſent, en fléchiſſant vers le haut, & reprennent bien-tôt la perpendicularité qui leur convient. Les fleurs du maronnier d'Inde, qui par la longueur des fibres de leurs pédicules peuvent ainſi ſe couder & ſe relever, tendent de même à ſe diriger vers le zénit ; & comme ces fibres ſont aſſez fortes pour s'y maintenir, malgré un aſſez grand poids de la fleur qui les

retire en sens contraire, elles s'y dirigent en effet pour la plûpart, sous la forme d'autant de girandoles coniques. Enfin cette affectation des végétaux est si visible & si constante, que je n'y sache point d'exception dont on ne puisse sur le champ trouver la raison particulière, sans préjudice à la cause générale.

Mais cette cause, quelle est-elle? ou que pourroit-on imaginer de plus prochain & de plus vrai-semblable, qu'un fluide qui s'élève continuellement de terre selon cette direction, & qui par ses impulsions redoublées oblige la plante & ses parties les plus flexibles à s'y conformer?

M. Dodart *, qui a parfaitement décrit les singularités de ce phénomène, semble nous inviter lui-même à cette explication par les sages restrictions qu'il ajoûte à ce qu'il nous en a donné, & dont il reconnoît l'insuffisance. Je ne voudrois pourtant pas rejeter toutes ses explications. Il y en a quelqu'une sans doute qui pourroit concourir, quoique foiblement, avec celle que je propose : mais l'attraction des rayons solaires, qu'on croiroit peut-être une des plus plausibles, est manifestement détruite par cette objection, que si elle avoit lieu, toutes les tiges des plantes seroient inclinées vers le midi, & d'autant plus, que les pays où

* Mém. de l'Acad. des Sc. 1700, p. 47.

elles croiſſent ſeroient plus proches du Pole.

M. de la Hire * penſoit qu'un ſuc plus groſſier & plus peſant deſtiné à nourrir les racines, par rapport au ſuc plus ſubtil & plus léger qui couloit dans la tige & dans les branches, pouvoit déterminer les unes à pouſſer en en-bas, & les autres à gagner le deſſus; après quoi, l'air ne faiſant aucun obſtacle à leur prolongement, elles ſortoient de terre, & continuoient de croître perpendiculairement à l'horizon. Mais outre que cette cauſe me ſemble peu proportionnée aux effets qu'il lui attribue, je ne vois pas comment on pourroit l'appliquer au cas des plantes qui croiſſent ſur les murailles ou ſur des lieux eſcarpés, non plus que des arbres couchés horizontalement, dont les ſommités ſe relèvent, & encore moins des fleurs qui, malgré leur poids & la direction de leurs pédicules, ſe redreſſent vers le zénit. Au lieu qu'un fluide qui coule ſans ceſſe plus ou moins, de bas en haut, qui s'inſinue peut-être dans les vaiſſeaux organiques des plantes & qui ſe mêle avec leur ſève, ſatisfait à tout, & ſe trouve fondé lui-même ſur une cauſe inconteſtable, la chaleur intérieure de la terre.

Parmi les raiſons qu'on a données juſqu'ici des variations du baromètre, & que je ne prétends pas rejeter, je doute qu'il

* Mém. de l'Acad. 1708, *p. 231*,

y en ait de plus vrai-ſemblables que ces vapeurs ou ces émanations quelconques qui montent ſans ceſſe du centre vers la circonférence du globe, mais qui montent quelquefois en plus grande abondance & avec plus de force, comme je crois qu'il arrive pendant les tempêtes, les éruptions des volcans, & les tremblemens de terre, où le baromètre baiſſe preſque ſubitement, & beaucoup plus qu'il n'a coûtume de faire dans ſes variations ordinaires. Ce qui ſe voit alors en petit dans les pays ſujets à ces ſortes d'accidens, a lieu, ſi je ne me trompe, en grand, quoique d'une façon moins marquée, ſur toute la ſurface de la terre. Car ce fluide dirigé de bas en haut doit ſoûtenir ou diminuer d'autant le poids ou la tendance de l'atmoſphère de haut en bas, & obliger le mercure du baromètre, qui lui fait équilibre, à deſcendre, ſelon que la tendance contraire eſt plus grande, ou qu'elle réſulte d'un fluide plus denſe & plus abondant. Les chaleurs immodérées & paſſagères que l'on éprouve quelquefois dans tous les climats, & indépendamment des ſaiſons, ſont preſque toûjours accompagnées des mêmes circonſtances, & l'effet d'une ſemblable cauſe.

Quant à la cauſe même de ces accès d'une émanation plus ou moins forte des vapeurs centrales, j'avoue que je l'ignore

totalement. Savons-nous la loi des expanſions & des contractions de l'atmoſphère ſolaire, toute expoſée qu'elle eſt à nos yeux dans la lumière zodiacale que nous voyons quelquefois s'étendre bien au delà de l'orbite terreſtre, & quelquefois ſe renfermer dans l'orbite de Vénus ou de Mercure ! Il eſt très-poſſible qu'il y ait dans la ſtructure de la Terre, par rapport à ſon feu central, un principe intérieur de dilatation & de contraction alternatives, dont nous ne connoîtrons jamais le méchaniſme, quoique nous en voyions & que nous en reſſentions les effets.

CHAPITRE XIV.

Circonſtances extérieures & locales qui ſe compliquent avec l'émanation, & avec la ſuppreſſion des vapeurs du Feu central.

CES circonſtances, comme autant de nouvelles cauſes du froid & de la gelée, ſe manifeſtent principalement ſur les hautes montagnes, c'eſt-à-dire, dans les pays où la ſurface de la Terre n'eſt qu'un aſſemblage & un tiſſu de rochers élevés. Car on conçoit aiſément que cette croûte plus denſe, plus épaiſſe, & plus éloignée du foyer que celle du terrein d'une plaine, doit intercepter en tout ou en partie les vapeurs chaudes qui s'élèvent ou tendent à s'élever du deſſous. C'eſt

pourquoi l'on éprouve toûjours ſur les hautes montagnes, telles, par exemple, que celles de la Cordelière en Amérique, un froid inſupportable, l'eau s'y glace au milieu de la zone torride, & la neige, dont les plus élevées ont retenu le nom de *montagnes neigées*, n'y fond jamais à une certaine hauteur conſtante & déterminée (*a*). On ſait de même que les Alpes, les Pyrénées, & tous les autres grands pays montagneux ont auſſi leurs *montagnes glacées*, où de temps immémorial on n'a point vû fondre la glace (*b*). Et quoiqu'il ait été allégué bien des raiſons de ce phénomène, parmi leſquelles il en eſt que j'adopterois volontiers (*c*), je ne trouve pas qu'elles y ſatisfaſſent pleinement. Je crois qu'il faut recourir de plus & pour la plus grande partie de l'effet, à la cauſe locale compliquée avec le principe du feu central, à ces vapeurs & à ce fluide qui s'élèvent de l'intérieur du globe, & qui ne pouvant pénétrer en aſſez grande abondance la croûte épaiſſe & compacte qui s'oppoſe à leur ſortie, laiſſent le deſſus expoſé à un froid glacial qui régneroit

(*a*) Savoir, à 2440 toiſes au deſſus du niveau de la Mer. *Relat. de M. Bouguer. Mém. de l'Acad. 1744.*

(*b*) Scheuchzer, *Iter quartum Alpinum.*

(*c*) Sur-tout celles que M. Bouguer en a données dans ſa dernière *Relation du Voyage fait au Pérou*, à la tête de ſon livre de *la Figure de la Terre*, imprimé cette année, & depuis que tout ceci étoit écrit.

ſur tout le reſte de la terre, ſi ce principe permanent de chaleur ne l'en garantiſſoit pas.

Il y a encore une choſe à remarquer ſur pluſieurs de ces hautes montagnes toutes compoſées de rochers, c'eſt que les variations du baromètre y ſont preſque nulles ou ſeulement d'une ou deux lignes, tandis que dans les pays d'alentour, & vers le bord de la mer, elles s'étendent entre les limites d'environ deux pouces. Telles ſont les Alpes, comme l'a remarqué M. Scheuchzer dans les différens voyages qu'il y a faits; car quoiqu'il faille retrancher des variations qu'il y devroit avoir, la partie proportionnelle à la deſcente du mercure dans le tube, en conſéquence de la hauteur des lieux, il s'en faut bien que ces variations approchent de ce qu'elles devroient être, puiſqu'environ 7 pouces de deſcente, par exemple, à quoi répond la plus grande hauteur des Alpes, ne devroient donner que 7 à 8 lignes tout au plus de retranchement à l'étendue des limites de variation, & qu'il en reſteroit encore 16 à 17. D'où viendroit donc que l'atmoſphère ne s'y mettroit pas en équilibre avec celle des plaines des environs pendant ces alternatives de deſcente & de *montée* du mercure, ſi l'interception du fluide montant, dont les accès ne s'y ſont point ſentir, n'avoit pas lieu? Ce n'eſt pas l'éloignement de l'atmoſphère qui eſt au deſſus, d'avec

celle des plaines voiſines, qui l'interrompt ou l'empêche ; car nous avons une infinité d'obſervations correſpondantes entre Paris, Uranibourg, Copenhague, & autres lieux fort éloignés, où les mêmes variations du baromètre arrivent le même jour, & preſque à la même heure.

J'avoue que la différence n'eſt pas ſi marquée entre les montagnes de la zone torride & les lieux circonvoiſins ſitués au bord de la mer; mais c'eſt que la ſurface de la zone torride eſt beaucoup plus élevée que celle des autres zones, & que par-là, ou par la cauſe même de cette élévation, la hauteur & les variations du baromètre y ſont beaucoup plus limitées, tant ſur les montagnes que dans la plaine. Par la même raiſon le chaud qu'il fait communément dans la zone torride n'eſt pas plus grand que celui qu'on éprouve à Paris dans les étés ordinaires; il eſt ſeulement plus continu, & c'en eſt aſſe_ pour être plus inſupportable *.

* Par les dernières obſervations de la figure de la Terre, le milieu de la zone torride eſt plus éloigné du centre que les poles terreſtres, de 7 à 8 lieues. Cette élévation, ſi elle donnoit autant d'éloignement de plus de la ſphère centrale de la chaleur, devroit, ſelon nos principes, cauſer un froid extrême dans toute cette zone. Mais il faut prendre garde que les forces centrifuges qui ont produit l'élévation de la zone torride, ayant agi d'abord ſur toutes les couches du globe terreſtre, ſuppoſé primitivement fluide, en raiſon des quarrés de viteſſe & des diſtances, la croûte ou la couche terreſtre exté-

La suppression des vapeurs centrales est aisée à démêler, quand, avec la hauteur du sol, elle se trouve jointe à d'autres causes de froid, telles que la saison de l'hiver, la hauteur du pole, les terres chargées de nitre ou d'autres sels; parce qu'il en résulte alors des effets prodigieux, & qui surpassent de beaucoup ce que ces circonstances toutes seules pourroient produire. Les hivers de la Sibérie & de quelques autres régions du continent de l'Asie, entre les 55 & 60 degrés de latitude, sont si terribles, qu'on a de la peine à imaginer que les hommes & les animaux puissent y résister. Un savant Naturaliste qui a passé quelques années dans ces pays-là, rapporte * que le mercure du thermomètre de M. Delisle y descend communément en

rieure de la zone torride n'a pû par cette cause que devenir un peu plus épaisse que celle des autres zones; & c'est de cette petite épaisseur de plus à cet endroit du globe que résulte une chaleur moins grande qu'elle ne devroit l'être à raison de la latitude, & par la cause générale des saisons. En un mot, la sphère ou le sphéroïde du feu central doit s'étendre davantage vers la zone torride que par-tout ailleurs, & y trouver en même temps une croûte plus épaisse de terrein à traverser.

* M. Jean-George Gmelin, Prof. en Chym. & en Hist. Nat. de l'Acad. Imp. de Péterfbourg, dans la grande & belle Préf. de sa *Flora Siberica.* Ces observations se rapportent aux années 1735, 36, 37 & 38, & ont été faites principalement au Fort de Kiren sur la Lena, & à la ville de Jenisea sur la rivière de même nom, vers le 58 & le 58 $\frac{1}{2}$ degrés de lat. selon *l'Atlas Russicus,* publié en 1745.

hiver à 240, & quelquefois jusqu'à 270 & 281 degrés, qui répondent à environ 48, 64 & 70 degrés de celui de M. de Reaumur, au dessous du terme de la congélation : tandis qu'à Torno en Bothnie, à près de 66 degrés de latitude, en Janvier 1737, le même thermomètre garni de mercure ne descendit qu'à 37 degrés, & qu'à Paris en 1709, le plus grand froid n'alla pas à la valeur de 15 de ces degrés. C'est que le terrein de la Sibérie est compacte & fort élevé, qu'il abonde en nitre & autres sels, qu'on y trouve en plusieurs endroits & presque toûjours de la glace à quelques pieds sous terre, & que cette glace s'étend vrai-semblablement à une très-grande profondeur ; de manière qu'on n'y sauroit que difficilement creuser des puits, & que si l'on vient à bout d'y en creuser, même plus bas que le lit des rivières voisines, l'eau n'y peut couler, en étant empêchée par les glaces, ou parce qu'elle se glace elle-même : toutes circonstances qui contribuent à la rigueur des hivers qu'on y éprouve, & contraires à l'émanation des vapeurs soûterraines ; mais qui, sans l'interception de ces vapeurs, ne sauroient porter le froid à cet excès énorme. Aussi le judicieux Auteur qui nous fournit tous ces faits, ne doute-t-il pas qu'il ne s'y mêle quelque chose de plus *.

* *Subesse aliam quamdam caussam in terra fortè latentem*, p. lxix.

CHAPITRE XV.

Application du principe des vapeurs centrales, à la Congélation & à la Gelée.

POUR résumer enfin tous ces faits & toutes ces inductions, & appliquer le principe à notre sujet, voici, en général, comment je conçois qu'il agit dans les climats tempérés, tels que le nôtre. Les vapeurs qui s'élèvent du sein de la terre, supprimées en tout ou en partie, moins abondantes, ou moins chaudes, diminuent la chaleur qu'il y avoit actuellement à sa surface, ou à la région inférieure de l'atmosphère, & y amènent ce que nous appellons le froid. Le froid survenu à la surface en resserre les pores, & cet effet devenant cause, diminue à son tour l'émanation des vapeurs. Tous les deux, soit comme effets, soit comme causes, se compliquent, se pénètrent, & sont suivis de la gelée, quand toutes les autres circonstances requises de la saison, du climat, des vents, &c. y concourent, & cette gelée dure jusqu'à ce que de nouvelles causes, internes ou externes, rompent l'accord des premières. A l'égard des climats extrêmes, soit pour le chaud, soit pour le froid, les causes de l'un & de l'autre absorbent souvent l'effet ordinaire de celle-ci, ou l'empêchent de paroître,

quoique toûjours exiſtante ; à moins que des circonſtances particulières ne la décèlent, ou n'en montrent viſiblement la ſuppreſſion, comme nous venons de le remarquer de la partie élevée & montagneuſe du Pérou, au milieu de la zone torridé.

CHAPITRE XVI.

De la différence des congélations, ſelon la différence des liquides, en général.

LA différence des congélations peut conſiſter ou dans leur promptitude, ou dans leur force, ou dans pluſieurs autres circonſtances qui varient à l'infini, ſelon la nature & les propriétés du liquide.

Pour s'en faire une idée générale, qui eſt tout ce que nous prétendons en tracer ici, il ſuffit de ſe rappeller ce qui a été dit ci-deſſus, de la différence qu'il y peut avoir entre les liquides, par la groſſeur, par les figures, & par les denſités différentes des parties qui les compoſent. Car les mêmes combinaiſons d'où reſultent leurs différens degrés & leurs différentes eſpèces de liquidité, doivent produire autant de ſortes de glace. Il eſt évident, par exemple, que, toutes choſes d'ailleurs égales, un liquide dont les parties intégrantes ſont plus groſſes, ou plus rameuſes, ou moins polies, ou

plus denſes, doit ſe geler plûtôt que celui dont les parties auroient des qualités contraires ; puiſque ce ſont autant de circonſtances qui diminuent l'activité de la matière ſubtile qu'il renferme.

Les liquides qui ſe gèlent facilement, & dont la glace, du moins celle qui ſuccède immédiatement à leur liquidité, n'eſt pas dure, comme l'huile d'olive, la graiſſe fondue, &c. ont apparemment des parties intégrantes plus rameuſes, & avec cela plus ſouples que celles des liquides dont la glace eſt plus ferme. Les petits filamens & les rameaux de ces parties peuvent leur procurer la promptitude de la congélation, & leur ſoupleſſe peut en empêcher la dureté.

Pour les liquides ſimplement aqueux, j'ai remarqué qu'ils ſe glacent preſque tous dans le même temps, ou dans des temps qui diffèrent peu entr'eux, & qu'il n'y a que certaines circonſtances dont on ne s'aperçoit pas quelquefois dans les expériences qu'on en fait, qui ſont l'unique cauſe des différences qu'on y trouve. Car un vaſe où il y aura eu quelque liqueur ſpiritueuſe ou quelque ſel, moins net, plus grand, d'une différente matière, ou d'une différente figure, un plus parfait ou un plus long repos, en un mot, la circonſttance la plus légère, eſt capable de produire des différences conſidérables dans la congélation de

deux liqueurs homogènes, ou même dans celle de deux portions ſemblables d'une même liqueur.

On peut voir parmi les expériences de Florence *, celles qui ont été faites dans cet eſprit ſur les congélations de l'eau de fontaine, de l'eau de neige, de l'eau de myrte, & de pluſieurs autres liqueurs.

CHAPITRE XVII.

Des liquides qui ne ſe gèlent point, ou qui ne ſe gèlent que difficilement.

COMME il n'y a preſque pas de corps, quelque ſolide qu'il ſoit, qui ne ſe fonde & ne ſe vitrifie par un feu violent, je crois auſſi qu'il n'y a point de liquide qui ne puiſſe, à la rigueur, être fixé ou changé en glace par un froid extrême. Si l'on trouvoit jamais le moyen de ramaſſer en un point tout le froid d'un grand eſpace, comme on a déjà eu l'art de raſſembler en un foyer les rayons du Soleil; ſi l'on trouvoit, dis-je, une machine pour augmenter le froid, équivalente aux miroirs dont on ſe ſert pour augmenter la chaleur, je ne doute pas qu'on ne vît en ce genre des phénomènes auſſi curieux & auſſi ſurpre-

* *Saggi di naturali eſperienze, &c.* pag. clvj.

nans que ceux qu'on a vûs au miroir ardent du Palais royal. Il eſt rapporté dans les expériences de Florence, qu'un miroir concave de réflexion ayant été ajuſté auprès d'un tas de glace de 500 livres peſant, l'eſprit de vin d'un thermomètre expoſé à ſon foyer commença à deſcendre. Mais rien n'eſt plus incertain que cette expérience, de l'aveu même de ceux qui l'exécutèrent. M. de Reaumur nous a fourni ſur ce ſujet, & par une voie bien différente tout ce que l'induſtrie & l'art ont donné juſqu'ici de plus curieux & de plus utile, en augmentant par degrés & de plus en plus, par le moyen des ſels & des eſprits acides tirés de ces ſels, la froideur d'une glace qui ſert à ſon tour à rendre la ſuivante plus froide, & ainſi de ſuite, ſans qu'on ſache où s'arrêtera la progreſſion. Il a pouſſé l'augmentation du froid dans ces expériences, juſqu'à 25 degrés de ſon thermomètre au delà du terme de la ſimple congélation *.

Je n'entends donc par des liquides qui ne ſe gèlent point, que ceux qui ne ſe gèlent que difficilement, ou qu'on n'a point vû geler chez nous dans les hivers les plus rudes.

Les liquides ſpiritueux qui ont des parties fort ténues, fort légères, & fort environnées de la matière ſubtile, ſont de ce

* Mém. 1734, p. 183.

nombre. Car l'agitation de cette matière doit être prefque auffi grande dans leur intérieur qu'au dehors; & leur légèreté, jointe à la facilité avec laquelle ils s'évapórent, le prouve d'une manière fenfible. Par cela même la matière fubtile qui circule dans ces liquides, y perd moins de fon mouvement que dans les autres, lorfque celle du dehors vient à s'affoiblir. Par exemple, tandis que, felon la théorie & le calcul du Ch. VII, la diminution d'un degré de vîteffe de la matière fubtile du dehors, aura produit dans l'intervalle d'une minute, une diminution de 6 degrés fur la matière fubtile qui eft renfermée dans l'eau, elle ne produira peut-être pas une diminution de 2 degrés fur celle de l'efprit de vin; & de plus, au lieu de cette progreffion, 6, 12, 24, 48, &c. que pourroient fuivre les diminutions de la matière fubtile intérieure de l'eau à chaque minute, les diminutions de celle de l'efprit de vin ne donneront peut-être que celle-ci, 2, 3, $4\frac{1}{2}$, $6\frac{3}{4}$, &c. C'eft pourquoi, lorfque la vîteffe de la matière fubtile de l'eau aura diminué de 90 degrés, celle de l'efprit de vin n'aura diminué, par exemple, que d'environ 16 degrés: & fi l'on faifoit l'agitation de cette dernière, avant l'affoibliffement, de 100 degrés plus grande que l'agitation de celle de l'eau, il lui refteroit encore après cette

diminution près de 84 degrés de vîteſſe au deſſus de la vîteſſe qu'avoit la matière ſubtile intérieure de l'eau avant que de s'affoiblir. Ainſi l'on peut juger quelle augmentation de froid exige l'eſprit de vin, ſelon cette hypothèſe, pour ſe geler, après la congélation de l'eau. On dit qu'il gela en partie dans quelques lieux pendant le grand froid de 1709 : mais il falloit que l'eſprit de vin auquel cela arriva ne fût pas bien rectifié ; car un de mes thermomètres demeura expoſé à l'air pendant les plus grands froids de cette année-là, & je n'y vis jamais la moindre apparence de glace ; quoique dans le pays où j'étois l'eſprit de vin de ce thermomètre ſe renfermât preſqu'entiérement dans la boule *.

Lorſque le vin, l'eau-de-vie, ou telle autre liqueur ſpiritueuſe, vient à ſe geler, ce n'eſt guère qu'en partie, & l'on trouve quaſi toûjours au centre du vaiſſeau, ou de la pièce de glace, la partie la plus ſubtile, qui s'y eſt raſſemblée ſans perdre ſa fluidité. Ainſi l'on peut par cette voie,

* Petit thermomètre de M. Amontons, à Béziers dans le Bas-Languedoc, où j'étois auſſi en 1716, lorſque ceci fut écrit, ce qui, toutes réductions faites, par rapport au thermomètre de M. de Reaumur, donne un peu plus de 12 de ſes degrés au delà du terme de la ſimple congélation, tandis que le point correſpondant au froid qu'il fit à Paris cette même année 1709, eſt environ $14\frac{1}{4}$ degrés.

& ſans autre opération que d'expoſer le vaiſſeau plein de vin à une forte gelée, faire d'aſſez bonne eau-de-vie; ce que le haſard a produit plus d'une fois, & que l'expérience confirmera quand on voudra. La raiſon en eſt aiſée à comprendre. La congélation commençant toûjours aux extrémités & à la ſurface du liquide, & par ſes parties les plus aqueuſes, & les moins fluides, il s'y doit faire une eſpèce de contraction, qui chaſſe continuellement vers le centre les parties les plus fluides, les plus difficiles à ſe glacer, & par-là les plus propres à s'échapper d'entre les particules de glace qui ſe joignent les unes aux autres vers la ſuperficie. Auſſi la partie glacée de ces liqueurs demeure-t-elle preſque toûjours après cela inſipide & ſans force, à peu près comme de l'eau commune. Et quand leur congélation a été ſi prompte & par un froid ſi grand, que cette ſéparation & cette élixation de parties n'a pû avoir le temps de ſe faire, la glace qui en réſulte n'eſt ni compacte, ni uniforme, & reſſemble quelquefois à de la neige à demi fondue.

Je ne crois pas, pour le dire ici en paſſant, qu'il faille chercher une autre explication au phénomène que Bellini a regardé comme ſi ſingulier, & ſi important pour la connoiſſance de l'œuf, & qu'il

propoſe en forme de problème ou de défi à tous les Anatomiſtes méchaniciens *. Il s'agit de cette partie de l'œuf qu'on voit ſur la ſurface du jaune, qui eſt appellée l'œil, le germe, ou plus proprement la *cicatricule.* C'eſt un fait conſtant que ſi l'on fait durcir un œuf, & qu'on coupe enſuite le jaune en deux, on y retrouve la cicatricule, non à la ſuperficie, mais au centre, & on l'y retrouve liquide en partie, ou avec une petite concavité ſphérique vuide, qui marque que ſa partie la plus ſubtile s'eſt évaporée pendant que le reſte de l'œuf durciſſoit. Je ne penſe pas, dis-je, qu'il y ait de cauſe plus prochaine de cet effet, que celle que je viens de dire, qui produit l'amas d'eſprit de vin au centre du vaiſſeau de vin gelé. L'œuf eſt un tout compoſé de diverſes parties, les unes plus fluides que les autres, ou plus capables de conſerver longtemps leur fluidité; & la portion de liqueur contenue dans la cicatricule, eſt, comme l'on voit par cette même expérience, la plus difficile de toutes à durcir. Il faut donc qu'elle ſoit chaſſée, qu'elle fuie, & qu'elle ſe raſſemble vers le centre, vers la partie encore fluide, & de moindre réſiſ-

* *Obſervatum mille de nominibus ſingulare, & ad mille pertinet. . . . . Oh autem vos, quicunque eſtis cum re Anatomica & Phyſico-Mechanica verſati, exponite mihi problema hoc: Quâ nempè ratione, &c.* Laur. Bellini, *Opuſc. Pr. 4. de Motu Cordis.*

tance, à meſure que les parties extérieures ſe figent, ſe durciſſent & la preſſent ; ce qui eſt encore favoriſé par la pellicule ou petite membrane qui la contient, & qui l'empêche de s'échapper ou de ſe diſſiper vers les côtés.

Il y a des huiles qu'on ne voit preſque jamais geler, telles que l'huile de térébenthine, & certaines huiles chymiques, qui tombent pour la plûpart dans le cas des liquides ſpiritueux tout pénétrés de la matière éthérée.

Les huiles graſſes ſe figent non ſeulement avec beaucoup de facilité, mais ce ſont d'ailleurs des liquides ſi peu homogènes dans le tiſſu des parties qui les compoſent, que quelques-unes de ces parties ſe trouvent figées par un froid beaucoup moindre que les autres, & long-temps avant les autres. De l'huile d'olive qui étoit gelée, que j'avois fait fondre, & qui étoit demeurée par-là jaune & brillante comme une topaze, ayant été expoſée à l'air libre en un temps & en un lieu où la liqueur du thermomètre étoit tantôt à la température des caves de l'Obſervatoire, tantôt à quatre ou cinq degrés plus bas, devint dans quelques heures terne, opaque & blancheâtre, & ſe maintint pendant quinze jours ou trois ſemaines en cet état, ſans perdre pourtant en général ſa liquidité, juſqu'à ce qu'une gelée la fît entiérement figer ; ce que je ne puis attribuer qu'à cette hétérogénéité de parties.

On a obſervé que la plûpart des huiles, ſoit graſſes, ſoit eſſentielles, ſe figent d'autant plus difficilement par le froid, qu'elles ſont plus anciennes *; parce qu'alors, ſans doute, toutes ces parties hétérogènes ont eu le temps de ſe diviſer, de *s'atténuer* entr'elles, & de ſe mêler plus intimement avec les autres

De toutes les huiles graſſes que je connois, l'huile d'olive eſt celle qui ſe gèle ou ſe fige le plus aiſément & par un moindre froid; celle de pavot, qui lui reſſemble, mais qui ſe gèle difficilement, y étant mêlée, forme un tout avec elle qu'il eſt preſque impoſſible de diſtinguer de la première dans ſa pureté. Auſſi n'arrive-t-il que trop ſouvent dans les pays où l'huile d'olive eſt rare, & d'un haut prix, que des marchands trompent le public par ce mélange. La meilleure manière de découvrir la fraude eſt d'expoſer ce tout à la gelée, ou d'y employer la congélation artificielle : l'huile d'olive ſe gèle, l'autre s'en ſépare, & conſerve toute ſa liquidité.

L'huile d'olive contient cependant, quoiqu'en petite quantité, des parties qui ne ſe gèlent point, & qui ſe réuniſſent au centre du vaiſſeau lorſqu'il en eſt plein & un peu grand, comme l'eſprit de vin dont nous avons parlé ci-deſſus. Il y a des Horlogers qui ſe ſervent de cette *huile concentrée* pour

* M. Geoffroy, Mém. de l'Acad. des Sc. 1728, *p. 88.*

mettre aux pivots de leurs montres & de leurs pendules ; mais je crois l'utilité de cette pratique très-douteuſe, ſi, comme il y a toute apparence, la fluidité de cette huile vient principalement de ſa partie aqueuſe la plus chargée des ſels de la plante, qui s'y ſont raſſemblés : car, en général, & ſans préjudice à ce qui a été dit dans le Chapitre VIII ſur les vapeurs ſalines qui s'élèvent dans l'air, les ſels qui ſe trouvent mêlés avec les liquides en empêchent la congélation, comme il ſera expliqué en ſon lieu ; & ces ſels peuvent ronger le métal des pivots des roues, & devenir très-nuiſibles à la machine.

L'eſprit de nitre & la plûpart des eaux fortes ne ſe glacent point, quoique leurs parties intégrantes ne ſoient pas, ſans doute, ni ſi ténues que celles de l'eſprit de vin, ni ſi ſouples que celles des huiles qui ne ſe figent point ; mais elles ſont ſi inciſives, qu'il y a apparence qu'elles reſſemblent à des pointes de lancettes liſſes & tranchantes, qui ſe tiennent mutuellement ſéparées & en mouvement par l'effort continuel qu'elles font, à la manière des coins, contre celles de leurs voiſines qui ſeroient prêtes à ſe joindre.

Pour le mercure, il eſt très-conſtant qu'il ne ſe gèle jamais ; cependant ſes parties doivent être fort peſantes, & peut-être fort dures & fort compactes. Mais cette même dureté doit les rendre d'autant plus propres à rece-

voir un poli plus parfait ; & avec cela une extrême rondeur & leur petitesse, qui les fait passer à travers les pores les plus étroits, peuvent compenser leur pesanteur, & procurer à la matière subtile toutes les facilités nécessaires pour les tenir toûjours en mouvement.

CHAPITRE XVIII.

De la Coagulation.

ON entend par la coagulation cet épaississement qui survient à certains corps, sans qu'ils perdent sensiblement des parties qui faisoient leur liquidité.

Les liquides susceptibles de cette modification méritent ici une attention particulière. Ce sont ceux qui, comme les autres, se glacent par un froid violent, & qui de plus se figent & se coagulent, les uns par une chaleur plus ou moins grande, & les autres par un froid médiocre. Le blanc d'œuf est de la première espèce ; le sang est de la seconde : le jaune de l'œuf tient, si je ne me trompe, un peu de l'une & de l'autre. Ces liquides sont très-composés, ou plûtôt ce ne sont que des corps extrêmement mous, dont la seule partie aqueuse & lymphatique qui les pénètre, retient la nature de liquide que nous avons décrite au commencement de cette Dissertation.

Leurs

Leurs parties propres ou intégrantes ſont fort groſſes, & nagent dans un ſuc gliſſant qui fait toute leur liquidité, ou dans cette humeur lymphatique beaucoup plus ſubtile qu'eux. De ce mélange naît un effet ſemblable à celui de la congélation, & par une cauſe ſemblable, quoiqu'en apparence toute contraire; car au lieu que c'eſt toûjours le froid ou la diminution de mouvement de la matière ſubtile & du feu qui produit la congélation, c'eſt ici quelquefois le feu même & l'augmentation de mouvement de la matière ſubtile intérieure qui produiſent la coagulation. Mais la liqueur dans laquelle nageoient les parties intégrantes des liquides coagulés par le feu, faiſant leur liquidité, comme la matière ſubtile faiſoit la liquidité de l'eau, & de cette liqueur même dont nous venons de parler, il eſt évident que le feu qui chaſſe cette liqueur d'entre leurs interſtices, ou qui la fait évaporer, de même que le froid chaſſe une partie de la matière ſubtile qui eſt dans l'eau, il eſt, dis-je, évident que le feu produit la coagulation par la même méchanique que le froid produit la glace. Et à l'égard de ceux de ces liquides, plus ou moins compoſés, qui ſe coagulent par un froid médiocre & fort au deſſous de celui de la congélation de l'eau, il eſt évident que ce n'eſt qu'à la partie gélatineuſe ou rameuſe qui ſe trouve mêlée avec leurs parties

les plus groſſières, qu'ils doivent cette prompte coagulation. Les gelées, les ſucs des fruits & des chairs des animaux qui ſe figent le plus tard ; ſont ceux où la partie aqueuſe qu'ils contiennent, ou qu'on y a mêlée, domine davantage.

La groſſeur que j'attribue aux parties intégrantes de quelques-uns des liquides qui ſe coagulent, non plus que la lymphe dans laquelle j'ai dit qu'elles nagent, n'eſt pas une ſimple conjecture. On voit ces parties & cette lymphe avec le microſcope : on voit le ſang, par exemple, couler dans les artères & dans les veines des nageoires d'un poiſſon, ou dans les membranes de quelqu'autre animal, comme de petits grains d'un rouge plus ou moins brun, qui ſont emportés dans une liqueur un peu jaunâtre, mais claire & tranſparente. Leeuwenhoek a diſcerné la figure de ces grains, en a déterminé la groſſeur, & s'eſt rendu célèbre par ſon adreſſe, ſa pénétration & ſa conſtance dans ces recherches. La partie rouge du ſang humain conſiſte en une infinité de globules, qui, ſelon cet Obſervateur, ſont vingt-cinq mille fois plus petits qu'un grain de ſable ordinaire, & par-là encore cent fois plus gros que certains animaux qu'on découvre avec le microſcope. Chacun d'eux eſt compoſé de ſix autres globules, chacun tourne ſur ſon centre ; ils ſont mollets, flexibles &

pesans *(a)*, plus pesans que la sérosité qui les entraîne, quoique cette sérosité soit plus pesante que l'eau de puits, qui l'est plus que toute autre *(b)*. De la flexibilité & de la mollesse des six petits globules composans naît l'assemblage du globule total qui en est composé, non comme une grappe de six grains de groseille qui ne se toucheroient que par un point, mais comme une sphère parfaitement unie dans toute sa surface, à cela près que le contact mutuel des six globules comprimés l'un contre l'autre trace autant de figures curvilignes quadrilatères d'une égalité & d'une régularité admirables *(c)*: & de leur pesanteur commune il résulte, que dès que le sang est hors des veines, & que la sérosité dans laquelle nagent ses globules s'est un peu refroidie & a perdu son mouvement, ils tombent au fond du vaisseau, ils s'affaissent, ils s'aplatissent les uns sur les autres par leur poids, & laissent au dessus ce fluide plus subtil qui leur procuroit en partie les divers mouvemens dont ils étoient agités.

(a) Observations de Leeuwen. *(Arcana. nat. det.) sur le sang, le lait, le sel, &c.* traduites & rassemblées par M. Mesmin.

(b) Th. Schwencke, *Hæmatologia, sive sanguinis historia, &c.*

(c) Essai sur l'Analyse du sang humain, par M. Ge. Martine, parmi les *Obs. de Méd. de la Soc. d'Edimbourg, t. 2.*

Reſſouvenons-nous ici de ce monceau de ſable ou de pouſſière, que nous avons imaginé en définiſſant les fluides & les liquides, dans un vaiſſeau plein d'eau bouillante. A force de bouillir l'eau ſe diſſipe & s'en va en vapeurs; & c'eſt-là une manière dont ce tout pouvoit perdre ſa liquidité. Mais ſi l'on ôte ſeulement le vaiſſeau de deſſus le feu, l'eau qui agitoit les grains de ſable ſe refroidit, ſe calme, & le ſable tombe au fond du vaiſſeau, ce qui fait une ſeconde manière dont ce tout pouvoit ceſſer d'être liquide. Il n'en arrive ni plus ni moins à des compoſés tels que le ſang, lorſqu'ils ſe coagulent par le froid; ſinon que leurs parties intégrantes étant molles, flexibles & imprégnées outre cela de quelque ſuc glutineux, elles s'aplatiſſent & s'attachent les unes aux autres, & forment un corps mou; au lieu que les grains de ſable étant durs & ſecs, ne feroient plus, étant ſeuls, qu'un ſimple fluide. Mais ſi l'eau avoit diſſous quelque ſuc pareil contenu dans les grains de ſable, leur aſſemblage formeroit une véritable coagulation, ou, comme on dit plus généralement, une *concrétion* tout-à-fait ſemblable à celle qu'on remarque dans certaines grottes, par l'*inſtillation* de l'eau qui ſemble ſe convertir en pierre.

Le lait, qui n'eſt qu'une eſpèce de ſang encore imparfait, participe auſſi plus ou

moins à tous les accidens du ſang ; par rapport à la coagulation, & par des raiſons toutes ſemblables.

La chaux vive pénétrée d'eau ou éteinte, ſe coagule preſque de même, mais s'endurcit beaucoup plus vîte étant expoſée à l'air. Le plâtre en fait à peu près autant, & ſon *endurciſſement* eſt encore plus prompt. Du reſte il eſt trop aiſé d'appliquer notre théorie à tous ces phénomènes, pour nous y arrêter davantage.

Nous avons auſſi fait entendre dès le commencement de ce chapitre, que tous les liquides qui ſe coagulent, ſoit au feu, ſoit à l'air ou au Soleil, ſoit par un froid médiocre, ſe gèlent par un grand froid, après s'être coagulés, ſe durciſſent par-là comme la glace, & forment une véritable glace, de même que tous les corps mous qui ſe trouvent imprégnés d'une ſuffiſante quantité d'humeur aqueuſe.

Je ne parlerai point de cette eſpèce de coagulation ou d'épaiſſiſſement, qui arrive à certains liquides par leur mélange avec d'autres corps, ou avec d'autres liquides; car outre que cela nous jeteroit dans un trop long détail, je ne crois pas que ces ſortes de coagulations aient beaucoup de rapport à la matière que je traite. Par exemple, lorſqu'après avoir verſé quelque acide dans les veines d'un animal, ſon ſang ſe fige &

ſe coagule, ce n'eſt apparemment ni par l'effuſion de la matière ſubtile, ou de la lymphe dans laquelle nagent les globules du ſang, ni par aucune ſécrétion des parties qui le compoſent; mais ſeulement parce que ſes globules ſe trouvant pénétrés & tout hériſſés des piquans de l'acide, comme autant de marrons dans leurs enveloppes, ils ne ſauroient plus tourner ſur leurs centres, ni gliſſer les uns ſur les autres de même qu'auparavant.

Cette idée générale de la différence des congélations, des coagulations, & des concrétions, ſelon les liquides qui en ſont le ſujet, ſuffit, ſi je ne me trompe, pour montrer que quelqu'extraordinaires qu'elles paroiſſent, elles ne s'écartent point de la théorie que j'établis dans cette première partie de mon ouvrage. J'eſpère que l'accord de mes principes ne ſe ſoûtiendra pas moins dans la ſeconde, par l'application particulière que j'en vais faire aux principaux phénomènes de la glace de l'eau, aûxquels ſeuls je m'arrêterai déſormais.



SECONDE PARTIE.

Des principaux phénomènes de la Glace.

POUR garder quelqu'ordre dans l'expofition de ces phénomènes, je confidérerai la Glace proprement dite, la glace de l'eau.

1° Dans fes commencemens, & dans tout le cours de fa formation.

2° Dans fa formation relativement à l'état & aux circonftances où fe trouve l'eau qui fe gèle.

3° Dans fa perfection ou lorfqu'elle eft toute formée.

4° Dans fa fonte, & dans le dégel.

5° Et enfin dans fa formation artificielle, par le moyen des fels.

Et comme chacun de ces points de vûe fournit grand nombre de détails, d'obfervations & d'expériences, je diviferai cette feconde partie en autant de Sections.

SECTION PREMIERE.

Des phénomènes de la Glace dans ſes commencemens, & pendant tout le cours de ſa formation.

CHAPITRE PREMIER.

Des premiers filets de la Glace.

L'EAU commence à ſe geler par des filets vers ſa ſuperficie; ces filets touchent d'ordinaire par un de leurs bouts aux parois du vaiſſeau qui la contient; ils ſont diverſement inclinés à ces parois, ou font avec elles divers angles, rarement l'angle droit. A ces filets il s'en joint d'autres qui leur ſont de même diverſement inclinés, & à ceux-ci d'autres encore, & ainſi de ſuite, juſqu'à ce qu'ils forment un premier tiſſu de glace, qui devient toûjours plus épais à meſure que le froid continue ou qu'il augmente. Voyons les raiſons de ces phénomènes, & premièrement, pourquoi la glace commence par des filets.

Il n'y a pas de corps dans la Nature qui ſoit ſi parfaitement uniforme qu'il n'admette quelqu'interruption, ou quelqu'inégalité de parties. Quelqu'égale que paroiſſe une corde

dans toute ſa longueur, il y a toûjours, phyſiquement parlant, un endroit plus foible que les autres par où elle rompra ſi elle eſt trop tendue. Les liquides ne ſont pas exempts de cette loi générale ; ils ont, ſans doute, quelques-unes de leurs parties intégrantes plus groſſes, moins polies que les autres, ou plus ſerrées entr'elles : or il eſt évident, par l'explication que j'ai donnée de la formation de la glace, que c'eſt par-là que doit manquer leur liquidité, ou que doit commencer leur congélation. Un petit amas de ces parties moins mobiles, plus raboteuſes, ou plus près les unes des autres, forme le premier glaçon : ce premier glaçon formé, les parties voiſines doivent s'y attacher, & ſe geler plûtôt que celles qui en ſont éloignées, parce qu'il leur communique une partie de ſa froideur ; & voici comment je conçois que ſe fait une pareille communication.

Plus les parties intégrantes d'un liquide ſont prêtes à ſe geler, plus elles ſont denſes & difficiles à mouvoir, plus la matière ſubtile trouve de difficulté à les écarter & à paſſer entre leurs interſtices. Mais quand enfin ces parties ſont une fois appliquées les unes aux autres, fixes & toûjours dans le même arrangement entr'elles, les paſſages deviennent à la vérité plus étroits, mais ils ne varient plus, il ne s'y fait plus d'inter-

ruption, & la matière ſubtile qui a commencé de couler par leurs interſtices & par leurs pores, peut y continuer ſon mouvement ſans obſtacle: car rien ne s'y met plus à la traverſe, comme il arrivoit à tout moment, pendant l'agitation en tout ſens des parties intégrantes du liquide, & avant la congélation. Donc la matière ſubtile embarraſſée dans les parties d'eau voiſines d'un glaçon, & entre leſquelles elle trouve plus de difficulté à ſe mouvoir, doit paſſer dans les petits canaux du glaçon, puiſqu'elle y rencontre une moindre réſiſtance & plus de facilité à continuer ſon mouvement: car, comme il a été remarqué, c'eſt une loi invariable, qu'un corps ou un fluide preſſé de tous côtés, s'échappe vers celui où il eſt le moins preſſé. Imaginons donc que ces parties d'eau voiſines viennent à former un ſecond glaçon qui s'attache au premier; leur jonction produira une longueur ſelon laquelle la matière ſubtile a de plus longs canaux à parcourir, & par conſéquent plus de facilité à continuer ſon mouvement, qu'elle n'en avoit dans un ſeul: c'eſt pourquoi il s'y en attachera bien-tôt d'autres en même ſens, & à ceux-ci d'autres encore, ce qui formera cette petite chaîne ou ces filets, par où l'on voit toûjours commencer la glace lorſqu'on l'obſerve attentivement.

Les deux premiers glaçons formés, il n'y

a pas de difficulté que les autres ne doivent s'attacher à eux bout-à-bout; mais il semble qu'on pourroit concevoir qu'il s'en devroit former d'abord plusieurs à la fois autour du premier, lesquels feroient autant de rayons dont il seroit le centre ou le noyau. Or de-là naîtroient toûjours des pelotons de glace & non des filets; & l'on voit aussi que cela arrive aux liquides dont on a lieu de croire que les parties intégrantes sont rondes ou cubiques, ou même crochues & rameuses. D'où il est naturel de croire que les parties intégrantes de l'eau sont oblongues; de la même manière qu'on conjecture les configurations des parties intégrantes des sels d'après les crystallisations salines. Il est clair qu'un paquet d'une vingtaine de bâtons de cire d'Espagne, par exemple, ou de fuseaux, laisseroit plus de passage à l'air selon sa longueur que selon sa largeur. De même les premiers glaçons, qui ne sont autre chose que de semblables paquets en petit, laissant beaucoup plus d'ouverture à la matière subtile selon leur longueur que selon leur largeur, doivent se joindre entr'eux bout-à-bout plûtôt qu'en aucun autre sens.

Les premiers filets de glace sont couchés horizontalement sur la surface de l'eau, parce que la surface est plus exposée au froid que le dedans, & que, selon l'explication que j'ai donnée de la formation de la glace en

général, c'eſt par les extrémités du liquide que la congélation doit commencer; & de plus, parce qu'en quelqu'endroit que ſe forment les filets, lorſque la congélation n'eſt pas extrêmement prompte, ils ont le temps de monter à la ſurface ſupérieure, étant plus légers qu'un pareil volume d'eau, comme je le montrerai dans un des chapitres ſuivans: c'eſt pour cela que lorſque ces filets ſe trouvent un peu plus plats & plus tranchans d'un côté que de l'autre, par exemple, comme des lames de canif, le dos de la lame eſt toûjours en haut, & le tranchant en bas; & ce dos de lame forme une eſpèce d'arête obtuſe un peu élevée ſur le niveau de l'eau.

Ces premiers filets tiennent d'ordinaire par un de leurs bouts aux parois du vaiſſeau, par la raiſon que j'ai dite ci-deſſus, que la congélation doit plûtôt commencer par les extrémités, & par conſéquent plûtôt vers les endroits plus minces, que vers ceux où il y a une grande épaiſſeur d'eau à traverſer. Car comme la ſurface ſupérieure eſt la partie du liquide la plus expoſée au froid, les bords de cette ſurface près des parois du vaiſſeau, ſont ce qu'elle a de plus aiſé à pénétrer par le froid: ſans compter que l'eau y retient toûjours moins de mouvement que par-tout ailleurs, à cauſe de ſon adhéſion aux parois du vaiſſeau.

Mais j'y trouve encore une autre raiſon, & je dis, que quand même les filets ſe formeroient vers le milieu de la ſurface, ils iroient bien-tôt d'eux-mêmes s'attacher aux parois de la plûpart des vaiſſeaux où l'on a coûtume de faire ces expériences. Pour le prouver, je ſuppoſe qu'on ſoit inſtruit d'un phénomène aſſez curieux, qui ſe trouve décrit dans quelques Traités de Phyſique *. C'eſt que tout corps qui nage ſur l'eau, qui ſe mouille facilement, ou contre lequel l'eau s'applique, va toûjours ſe joindre aux parois du vaſe qui contient l'eau, en quelqu'endroit de la ſurface qu'on le mette, lorſque le vaſe eſt lui-même mouillé par cette eau, & qu'il n'en eſt pas tout-à-fait plein. Au contraire, ce corps viendroit toûjours des parois vers le centre de la ſurface, ſi le vaſe étoit enduit par dedans d'huile, de ſuif, ou de telle autre matière qui ne s'unit pas aiſément avec l'eau. Donc il eſt évident qu'en quelqu'endroit de la ſurface de l'eau que ſe trouvent les premiers filets de glace, ils doivent s'aller attacher aux parois du vaiſſeau : & cette ſeconde raiſon eſt ſi eſſentielle, que l'effet ceſſe dès qu'elle n'a plus lieu, quoique la première ſubſiſte : car j'ai vû très-ſouvent

* Mariotte, *Mouvem. des Eaux*, p. 119. & Fr. Bayle, *Phyſ. general. part. 1, diſp. 7, prop. 21, probl. 8.*

de ces premiers filets de glace flottans au milieu de la ſuperficie de l'eau d'un vaſe dont les parois intérieures avoient été enduites de quelque graiſſe, les uns formés vers le milieu & s'y arrêter, quelques autres formés contre les parois & s'en détacher pour aller vers le milieu, ſi-tôt qu'ils avoient acquis une certaine grandeur. Lorſqu'on remplit le vaſe juſque par-deſſus les bords, en ſorte que l'eau monte une ou deux lignes au delà, le corps flottant & mouillé qu'on y fait nager va toûjours vers le milieu de la ſurface, de même que ſi le vaſe n'étant pas plein avoit été frotté d'huile ou de ſuif en dedans; car dans ces deux cas la ſurface de l'eau eſt également convexe vers les bords. Mais l'effet n'en eſt pas toûjours le même par rapport aux filets de glace; ceux qui ſont formés vers le milieu y demeurent, mais ceux des bords ne s'en détachent pas pour paſſer vers le milieu, ſur-tout lorſque le vaſe eſt de verre ou de quelqu'autre matière dure. C'eſt que la matière ſubtile qui paſſe dans les pores du verre & dans ceux du filet de glace déjà formé contre le verre, s'y meut à peu près de la même manière; au lieu que la graiſſe ou l'huile étant fort hétérogènes au verre & à la glace par la configuration de leurs pores, la matière ſubtile ne ſauroit paſſer uniformément des uns dans les autres; & peut-être qu'elle s'y repouſſe de part &

d'autre d'une manière tout-à-fait semblable à ce qu'on croit qu'il arrive lorsqu'on présente deux pierres d'aimant l'une à l'autre par le même pole.

Ces mouvemens intérieurs ou extérieurs d'un fluide subtil, par rapport à des corps ou des corpuscules quelconques, & l'espèce d'atmosphère que ce fluide forme autour d'eux, qui repousse les uns & qui s'accroche aux autres, quelqu'hypothétiques qu'ils paroissent, ne doivent point surprendre, & sont admis par les Physiciens les plus habiles, & sur-tout par ceux que des expériences aussi nombreuses que délicates ont rendu célèbres *. Mille phénomènes en décèlent l'existence, que nous nous contentons d'employer ici par voie de supposition.

* Newton, *Opt. l. 2. part. 3. pr. 8, &c.* Boyle, De Atmosphæris corporum consistentium, *ubi ostenditur corpora etiam dura & solida (& nonnulla talia, quæ quis vix suspicaretur) emittendis effluviis, adeòque habendis atmosphæris, apta esse.* Entre une infinité de phénomènes; ceux de la Réfraction de la Lumière, & surtout de sa Diffraction, prouvent sensiblement la réalité de ces atmosphères; sur quoi voy. Mém. de l'Acad. des Sc. 1738, *p. 53.*

CHAPITRE II.

Comment les filets de glace ſe joignent aux parois du vaiſſeau & entr'eux, & des figures qui en réſultent.

Les premiers filets de glace ſont diverſement inclinés aux parois du vaiſſeau, ou font avec elles divers angles, & rarement l'angle droit; de ſorte que ſi le vaiſſeau eſt rond, comme un gobelet, par exemple, ils repréſentent des parties de cordes du cercle, & non des portions de diamètres. La première raiſon qui s'en offre à l'eſprit, c'eſt que l'angle droit étant unique, & tous les autres, ſans ceſſer d'être obtus ou aigus, pouvant varier à l'infini, de pluſieurs aiguilles qui ſont jetées au haſard ſur un cercle, la plus grande partie doit faire divers angles aigus & obtus avec les tangentes des points de la circonférence où elles ont un de leurs bouts, & très-peu d'entr'elles doivent faire l'angle droit. Mais ſi cette raiſon avoit lieu, il y auroit un plus grand nombre d'angles fort aigus & de filets couchés contre les parois, qu'on n'en voit ordinairement: car j'ai remarqué que ces angles ne ſont preſque jamais au deſſous de celui de 30, ou même de 60 degrés qu'ils affectent plus que tout autre; ce qui mérite aſſurément beaucoup

d'attention *, & dont nous ferons bien-tôt un ou plusieurs articles à part.

A ces premiers filets il s'en joint de seconds qui leur sont diversement inclinés, par les mêmes raisons & de la même manière que les premiers s'étoient joints aux parois du vaisseau. Il faut seulement remarquer que de seconds filets s'étant formés tout auprès d'un des premiers, ils ne s'y attachent, que parce qu'ils le rencontrent plûtôt que les bords du vaisseau ; & apparemment ils s'y attachent entre les bouts & à la suture des petits paquets de parties intégrantes d'eau, qui composent la chaîne ou le filet ; car la matière subtile les peut plûtôt traverser par ces endroits que par tout autre.

A ces seconds il s'en joint d'autres encore, & ainsi de suite jusqu'à l'entière formation d'une pellicule de glace. Il est rare néanmoins qu'on puisse apercevoir ces filets au delà des troisièmes ou des quatrièmes, parce qu'ils se trouvent si courts, si petits & si près les uns des autres, qu'ils ont achevé un tissu presqu'uniforme avant que d'avoir acquis la grosseur nécessaire pour produire

* M. Perrault avoit déjà observé que les filets de glace se joignoient aux parois du vaisseau sous un angle oblique, & jamais à angles droits, ni approchant de l'angle droit, du moins à en juger par la figure qu'il en donne dans le 4[me] de ses *Essais de Physique*, p. 330.

des réfractions différentes de celle de l'eau, ou pour être visibles *.

Pour voir ce premier canevas de la glace, il faut exposer de l'eau à une gelée fort lente, l'observer de temps en temps, & quand la première pellicule aura acquis l'épaisseur d'environ une demi-ligne, la percer vers les bords de la jatte ou du vase, & faire écouler l'eau de dessous par inclination, en sorte que cette petite croûte demeure seule & tendue au dessus, comme une toile d'araignée. Je me suis servi le plus souvent d'un grand vaisseau plat, qui étoit d'une couleur obscure en dedans, & qui avoit un ou deux trous vers le fond. Par ce moyen j'ai mieux distingué les filets de glace, après en avoir vuidé l'eau de dessous plus commodément, & sans les endommager. Mais je dois avertir qu'il règne une variété prodigieuse dans la grandeur, le nombre, l'assemblage & les figures de ces filets; & que, quelque soin qu'on y apporte, il est bien difficile de rencontrer deux congélations semblables. Souvent ce ne sont que des figures irrégulières, qui ne réveillent l'idée de rien de connu. Quelquefois plusieurs amas de filets parallèles ressemblent aux desseins d'une rase campagne, qui n'est variée que par des champs diversement sillonnés : ici un premier filet fort gros, qui en a à ses côtés

* *V. Planche I* à la fin du volume.

un grand nombre de ſeconds couchés de part & d'autre uniformément, repréſente une plume avec ſes barbes : là quelques filets qui n'auront pû parvenir aux parois du vaiſſeau, ni ſe coucher contre quelque grand filet, ſe rangeront autour d'un centre en forme d'étoiles, ou décriront une croix de Malte façonnée par les bords, & mille autres figures, ſelon les circonſtances qui les y déterminent *. Mais les figures qui me paroiſſent les plus fréquentes ſont celles de morceaux de feuille, ou quelquefois de feuilles entières. Le premier filet de glace, qui eſt ordinairement le plus gros, forme la queue ou la côte de la feuille; les ſeconds qui s'attachent par un de leurs bouts latéralement au premier, & les troiſièmes qui s'attachent de même à ceux-ci, repréſentent les autres petites côtes, la nervûre, les veines & ce réſeau qu'on voit au dos de la plûpart des feuilles. Il n'eſt pas juſqu'à leurs découpures, qui n'y ſoient exprimées très-diſtinctement, mais toûjours avec beaucoup de variété ; les unes à anſe de panier, les autres en tiers-point & à dent deſcie, comme des feuilles d'ortie, ou de roſier.

Ces dentelures ſont formées par les extrémités & les pointes des ſeconds filets

* La figure de la Planche I tient un milieu entre ces congélations les plus façonnées & celles qui le ſont le moins. Elle a été deſſinée d'après Nature.

attachés à un des premiers ; car les troisièmes & les quatrièmes filets qui remplissent leurs intervalles, & qui achèvent le réseau, commencent toûjours près de la côte, où il y a plus de glace, & où les seconds filets sont plus gros & plus serrés ; & si en cet état ces feuilles ainsi formées viennent à s'élever un peu au dessus de la surface de l'eau, parce qu'elles sont plus légères que l'eau, elles demeureront pendant quelque temps distinguées de tout le reste de la pellicule de glace qui se fait aux environs. Car les glaçons voisins ne se mettent guère à un niveau si exact avec elles, qu'ils ne soient un peu plus ou un peu moins élevés selon leur différente grosseur: mais à mesure que la glace se fait plus épaisse, ces inégalités deviennent imperceptibles, parce qu'elles ne sont quasi rien par rapport à une épaisseur considérable, & que les réfractions de la lumière se trouvent par-tout sensiblement uniformes. On verra dans la suite de cette Dissertation, la raison que j'ai eue d'expliquer les figures de feuille qui se voient légèrement tracées sur la glace, plus particulièrement que toutes les autres. Du reste, les découpures des glaçons plats sont si ordinaires, qu'on n'en arrache guère, qu'on ne les trouve tout dentelés au dessous ou à côté, comme de petites scies.

CHAPITRE III.

Des bulles d'air qui se forment dans l'eau quand elle commence à se geler, & des divers effets qu'elles y produisent.

ENTRE les accidens qui arrivent à l'eau avant que de se geler, & pendant qu'elle se gèle, un des plus remarquables & des plus visibles, est qu'il en sort une grande quantité d'air.

L'eau contient beaucoup d'air, cela est constant par mille expériences, mais sur-tout par la formation de la glace. Car à mesure que l'eau approche de la congélation, il s'y fait une espèce de bouillonnement à l'occasion des parties d'air qui en sortent, ou qui se détachent d'entre ses interstices. Cet air divisé auparavant en une infinité de petites parcelles répandues uniformément dans le liquide, venant à se rassembler par leur rencontre, & à se trouver en cet état plus comprimé vers les endroits où la congélation commence, que du côté où elle est plus retardée, s'échappe de ce côté-là, s'y assemble de nouveau, & y forme des bulles si visibles, qu'elles ont quelquefois jusqu'à 2 ou 3 lignes de diamètre: car toute masse sensible d'air enfermée dans l'eau doit y prendre une forme sphérique, par la force

de son ressort qui pousse l'eau également de tous côtés. Les bulles d'air paroissent d'ordinaire plus grosses vers le centre & vers l'axe du vaisseau, que vers les bords & la superficie de la glace ; mais elles sont communément en plus grand nombre vers le fond & près des parois intérieures, d'où elles semblent quelquefois partir, & y tenir par une queue, en forme de larmes dont la tête est tournée vers l'axe ; parce que c'est par les bords, par la superficie & par les parois minces du vase, que le refroidissement & la congélation du liquide commencent.

J'ai vû quelquefois un grand nombre de bulles d'air engrumelées vers le côté du vaisseau où la congélation a été moins prompte, & y former comme une grappe de raisin, dont les grains seroient fort serrés.

Quand l'eau ne se gèle pas promptement, une partie des bulles d'air, qui sont toûjours plus légères que l'eau, ont le temps de monter du fond vers la superficie, & de se dégager de l'eau, pourvû que la pellicule de glace ne soit pas encore formée ; mais si la congélation est prompte, la surface & les bords de l'eau se trouvant tout-à-coup extrêmement condensés dans une grande épaisseur, compriment & chassent avec violence vers le fond & vers le centre la plus grande partie de l'air qui étoit em-

barraſſé entre leurs interſtices : il en ſort néanmoins quaſi toûjours quelque peu, avant que la croûte de glace ſoit tout-à-fait achevée ; & cela eſt même d'autant plus viſible, que la congélation eſt plus prompte. C'eſt que cette promptitude contribue à produire de plus groſſes bulles d'air, & plus capables par-là de s'élever, & de diviſer le liquide malgré ſa condenſation. Ainſi lorſque la congélation eſt prompte, il ſort très-peu d'air de l'eau, mais les bulles d'air qui en ſortent ſont plus groſſes ; & au contraire quand la congélation eſt lente, il ſort un très-grand nombre de bulles d'air, mais fort petites.

Nous ne parlons ici que de ce qui arrive communément & preſque toûjours, lorſque l'art ne s'en mêle pas : car il y pourroit avoir telle congélation ſi ſubite, que les particules d'air engagées dans l'eau n'auroient pas le temps de s'en dégager, & que la glace qui en réſulteroit ne nous montreroit d'abord, & de quelques heures, aucunes bulles ſenſibles. Mais elles y naiſſent bien-tôt après, & vont même toûjours en augmentant de groſſeur & de nombre ; comme nous le remarquerons plus particulièrement en ſon lieu.

Il y a auſſi d'autres bulles d'air dans la glace, qu'on ne diſtingue qu'avec une loupe ou avec un microſcope, & elles s'y trouvent preſque toûjours répandues en très-grande quantité ;

car l'eau qui approche de la congélation, après avoir poussé vers le côté le moins dense les premières parcelles d'air qui forment les bulles visibles, ne laisse pas d'en retenir encore beaucoup qui ne s'assembleront que lorsque la condensation sera devenue plus grande. Mais comme dans ce dernier période les parties intégrantes du liquide sont beaucoup plus difficiles à mouvoir, & qu'il y en a même plusieurs qui commencent à se fixer, les parcelles d'air ne peuvent plus s'assembler en si grand nombre, parce qu'elles ne sauroient plus aller si loin se grossir de leurs pareilles; ainsi elles ne doivent plus former par-tout que de petits globules imperceptibles.

Lorsqu'on met geler de l'eau dans un vase profond & étroit, tel que seroit un vaisseau cylindrique deux ou trois fois plus haut que sa base, l'air qui s'amasse vers l'axe & vers le fond, s'y trouve d'ordinaire en si grande quantité, qu'il a la force non seulement de remonter, mais encore de rompre le milieu de la première croûte de glace qui s'étoit formée sur l'eau. C'est cet effort de l'air qui rend ordinairement le milieu de la superficie de la glace plus élevé que les bords ; & cela arrive sur-tout lorsque les bulles d'air ne commencent à monter que quand la glace est médiocrement épaisse. Si elles montent auparavant, elles rompent le milieu

milieu de la croûte, & l'entretiennent ainſi ouverte preſque juſqu'à la congélation de toute l'eau; & comme en ſortant elles entraînent toûjours un peu d'eau avec elles, il ſe forme d'ordinaire en cet endroit une boſſe ou un monticule plus ou moins haut, ſelon que l'air eſt ſorti avec plus ou moins de violence.

Lorſque le vent ſouffle ſur le liquide pendant la congélation, il ſe forme auſſi une petite éminence à ſa ſuperficie, non au milieu, mais à côté & vers la partie du vaiſſeau qui regarde le deſſous du vent, parce que l'eau y eſt continuellement pouſſée.

Enfin on voit arriver rarement ces effets, ou d'une manière moins marquée, lorſque la congélation eſt très-lente & à l'abri du vent; & auſſi lorſqu'on a fait bouillir pendant quelques heures l'eau qu'on veut expoſer à la gelée.

Dans le premier cas, c'eſt qu'une plus grande quantité d'air a eu le temps de ſortir peu à peu, & que les bulles n'en ſont pas ſi groſſes, le mouvement intérieur du liquide n'ayant été ni ſi ſubit, ni ſi violent.

Dans le ſecond, c'eſt que le feu a chaſſé une grande partie de l'air qui étoit contenu dans l'eau, & que cette eau encore chaude ou tiède, & ainſi expoſée à la congélation, donne plus de temps à l'air qui y reſte pour s'échapper, & retarde ou affoiblit d'autant le trouble intérieur de la congélation.

CHAPITRE IV.

Augmentation du volume de l'eau quand elle approche de sa congélation, & pendant sa congélation.

PAR la théorie générale que nous avons donnée des liquides, & de la formation de la glace, tout liquide doit se resserrer à mesure qu'il se refroidit, & occuper moins d'espace, ou devenir plus pesant par rapport à son volume. Ainsi lorsqu'il est prêt à se geler, & à plus forte raison, lorsqu'il se gèle, ses parties doivent être plus proches les unes des autres que jamais, & former un moindre volume. La cire, les huiles, la graisse, les métaux fondus, à l'exception du fer*, suivent tous cette loi générale, ils occupent moins de volume à mesure qu'ils se refroidissent, & moins encore lorsqu'ils sont figés. L'eau & la plûpart des liqueurs aqueuses ne s'en écartent point jusqu'aux momens qui précèdent la congélation, elles perdent de leur volume, & acquièrent, en ce sens, d'autant plus de poids qu'elles se refroidissent davantage. Mais quand cette froideur est enfin parvenue

* Mém. de M. de Reaumur, dans le vol. de l'Acad. 1726, p. 273.

jufqu'au point qui va produire leur congélation, elles fortent totalement de la règle, elles fe dilatent, & diminuent de poids par rapport au volume.

Comme c'eft-là un des plus importans & des plus curieux phénomènes de la glace, & qui en comprend plufieurs autres, nous allons tâcher de le bien conftater, d'en découvrir la caufe, & de l'expliquer dans toute l'étendue qu'il mérite.

Pour vous convaincre de fa réalité, prenez une bouteille de verre à long col affez étroit, rempliffez-là d'eau médiocrement froide, jufque vers le milieu de ce col, faites-y une marque vis-à-vis la furface de l'eau, & expofez le tout à la gelée. Vous verrez l'eau defcendre peu à peu au deffous, jufqu'à trois ou quatre lignes, jufqu'à un pouce ou à plufieurs pouces, felon que la bouteille eft plus grande & que fon col eft plus étroit, & plus ou moins vîte, felon que la gelée eft plus ou moins forte. Bien-tôt après la furface de l'eau s'y arrêtera & demeurera ftationnaire pendant quelques momens; après quoi elle remontera peu à peu, jufqu'à la marque, & paffera enfin au delà, plus ou moins par rapport à la defcente, felon que le degré de froideur où elle étoit au commencement fe trouvoit plus ou moins inférieur à celui de la congélation dont elle approche dans cet inftant.

L'eau qui approche de la congélation & celle qui se glace actuellement, occupent donc plus d'espace, & deviennent par-là plus légères qu'un pareil volume d'eau médiocrement froide. Et à l'égard de l'eau actuellement glacée, & qui représente l'état où elle étoit l'instant d'auparavant par rapport au volume, on en a une preuve sans replique, puisqu'elle y nage toûjours dessus, & que les glaçons qu'on met au fond d'un vaisseau plein d'eau, ou au fond d'une rivière, montent toûjours vers la superficie.

Une suite de cet effet, ou une seconde preuve de l'augmentation de volume, aussi incontestable que la précédente, & qui montre en même temps l'effort de l'eau ou de la glace pour se dilater, est la rupture ordinaire des vaisseaux où elle est contenue, lorsqu'ils sont étroits par le haut, & que la congélation est assez prompte pour ne pas donner le temps à l'air de sortir, & aux parties de l'eau de s'ajuster les unes sur les autres, de soûlever peu à peu la croûte supérieure de la glace, ou de la *voiler* & la rendre convexe par son milieu. Car si, par exemple, le vaisseau où se fait la congélation étoit fort grand, & plat comme un bassin, on voit bien que quelque forte que fût la glace, & quelque adhérente qu'elle fût aux bords du bassin, elle devroit plier aisément par le milieu de la croûte supérieure,

& faire place d'autant au gonflement intérieur; de même qu'une barre de fer, quelque grosse qu'elle puisse être, ne laisse pas de céder par son milieu, lorsqu'elle est fort longue, & qu'elle n'est soûtenue que par ses deux bouts. Et si le vaisseau, quoique petit & profond, se trouvoit beaucoup plus large par l'ouverture que par le fond, s'il étoit évasé ou conique, & tel que la plûpart de nos verres à boire, tout l'effort de la congélation ne tendroit qu'à pousser la glace vers le haut du vaisseau, en la détachant de ses parois, & la faisant glisser vers la partie évasée. Aussi lorsqu'on fait geler un verre d'eau tout plein, la glace remonte si fort, qu'elle passe quelquefois les bords du verre de 2 ou 3 lignes. Il n'y a guère que ces circonstances, ou une épaisseur extraordinaire, par rapport à la petite quantité d'eau, qui empêchent le vaisseau de crever.

Quant à la mesure de cette dilatation, & de sa force pour surmonter les obstacles qui s'y opposent, nous en parlerons plus particulièrement dans un des chapitres suivans.

Voilà donc un effet bien constant que celui de l'augmentation de volume de l'eau qui se glace: cependant bien loin qu'il y ait aucune nouvelle introduction de matière, il en sort beaucoup d'air en bulles très-visibles, comme il a été remarqué ci-dessus. Et

à l'égard de la matière éthérée contenue dans le liquide, & qui environne les parties intégrantes de l'eau, ou remplit leurs interſtices, nous avons vû par la théorie générale de la formation de la glace, qu'au lieu d'augmenter à meſure qu'il ſe refroidit, elle doit diminuer de quantité, de volume & de reſſort. Il faut donc que le changement qui arrive au liquide à cet égard, pendant la congélation, conſiſte en quelque diſpoſition de parties, ſoit de l'eau, ſoit de l'air qui y eſt contenu, différente de ce qu'elle étoit auparavant.

CHAPITRE V.

Trois cauſes de l'augmentation de volume de l'eau pendant la congélation. Première cauſe, les bulles ſenſibles d'air qui s'y forment.

PLUSIEURS cauſes peuvent concourir à l'augmentation de volume dans l'eau qui ſe glace.

1° Les bulles d'air qui s'aſſemblent dans l'eau pendant la congélation.

2° Le dérangement qui ſurvient aux parties intégrantes de l'eau, par la ſortie ou par le dégagement de l'air d'entre ſes interſtices.

3° Le dérangement des parties intégrantes

de l'eau par la manière différente dont elles ſe grouppent entr'elles, en vertu d'une tendance qu'elles ont, ou qui leur eſt imprimée en ce moment, à s'incliner les unes vers les autres ſous un angle ſenſible.

L'explication de la première de ces cauſes va faire le ſujet de ce Chapitre : elle mérite d'autant plus d'attention, que bien qu'elle ait été depuis long temps & pluſieurs fois employée, perſonne, que je ſache, ne l'avoit encore ramenée à ſes vrais principes.

Si l'air contenu dans l'eau y étoit diviſé en ſi petites parcelles qu'elles pûſſent ſe loger dans les interſtices des parties de ce liquide, ſi ces molécules d'air y prenoient la figure de ces interſtices, ou enfin ſi en cet état elles y étoient ſans reſſort, il ſeroit aiſé de concevoir comment aſſemblées enſuite en groſſes bulles ſenſibles, par l'ébullition ou par la congélation, elles y occupent plus d'eſpace & en dilatent la totalité. Pluſieurs brins de laine ſéparés, ou entortillés & exactement couchés ſur des fuſeaux, n'y feront pas la centième partie du volume qu'ils peuvent faire dans un amas fortuit & tel que celui de la laine cardée. Dans le premier cas on n'a quaſi d'autre volume que celui de la matière propre de la laine ; dans le ſecond il y faut ajoûter les vuides & les intervalles que les brins de laine irrégulièrement aſſemblés & tortillés laiſſent entr'eux. Mais outre que je

n'oserois assurer que l'air contenu dans les liquides y soit totalement destitué de ressort, l'induction que je prétends tirer de la grosseur des bulles d'air qui se forment dans l'eau pendant sa congélation, n'en sera que plus forte, si je fais voir que, supposé même que cet air y fût auparavant sous la forme sphérique, & avec tout son ressort, son énergie pour en augmenter le volume doit être d'autant plus grande, qu'il s'y trouve assemblé en plus grosses bulles.

Il ne s'agit donc que de savoir comment la grosseur des bulles peut opérer cet effet. Comment une bulle d'air, par exemple, qui s'est formée de 100 petites bulles, auparavant dispersées dans l'eau, a plus de force & d'intensité pour se dilater & pour écarter les parties de l'eau, que les 100 petites bulles n'en avoient étant dispersées çà & là. La force de la grosse bulle ou goutte d'air est-elle autre chose que la somme des forces des 100 petites gouttes! Quelle addition de force leur réunion a-t-elle pû y apporter!

Remarquons, 1° Que, toutes choses d'ailleurs égales, la force des bulles d'air en général, pour résister à la pression de l'eau, est fondée sur leur courbure uniforme ou sur leur sphéricité qui leur fait soûtenir également cette pression par tous les points de leur surface, & par le moyen de laquelle toutes les parties élastiques qui les composent

s'arcboutent mutuellement vers le centre.

2° Que l'avantage de la grosse bulle sur la petite consiste, & dans sa moindre surface à raison de sa solidité, étant, par exemple, huit fois aussi grosse, si elle a un diamètre double de celui de la petite, n'ayant que quatre fois autant de surface; & dans sa moindre courbure, à raison de son plus grand diamètre, les courbures des cercles ou des sphères étant entr'elles en raison inverse de leurs diamètres.

3° Que sans ces circonstances les forces de leurs expansions seroient égales, par ce principe, que plusieurs ressorts égaux appuyés les uns sur les autres ne soûtiennent pas un plus grand poids qu'un seul, & qu'ainsi les deux surfaces planes & parallèles d'un grand & d'un petit cube, par exemple, qui seroient remplis d'air, résisteroient ou céderoient également à la pression du liquide qui agiroit contre elles, ou, ce qui revient au même, que cette pression feroit bien-tôt prendre à l'une & à l'autre de ces deux masses d'air cubiques & anguleuses la figure sphérique, la seule qui puisse établir l'équilibre de toutes parts entre le liquide environnant & le fluide environné. Et c'est la raison pourquoi tout fluide ou tout liquide suspendu dans un autre qui ne le dissout point, y prend toûjours, ou tend toûjours à y prendre la figure sphérique.

4° Qu'il s'agit ici de l'intensité d'une force contre un point pour y soûlever un poids donné, ou vaincre une force contraire, & non de son extensité, ou de la somme égale de plusieurs forces dispersées : car 100 ressorts, par exemple, rangés à côté les uns des autres sur un plan, & capables d'y soûtenir un autre plan chargé d'un poids de 100 livres, à raison d'une livre par ressort, ne repousseront jamais aucun des points du plan supérieur avec une force de 2 livres, & encore moins de 100 livres; ce que fera un seul ressort qui a le centuple de force. Or ce plan supérieur devenu flexible en tous ses points, & cédant à l'impulsion de chaque ressort, représentera le cas du liquide comprimant qui environne les bulles d'air.

5° Enfin, que le principe des forces centrifuges, toûjours plus grandes en raison inverse des diamètres des cercles ou des sphères, n'a pas lieu ici, n'étant point question d'un mouvement circulaire ou *vortical* autour d'un centre ou d'un axe, mais seulement d'une tendance de parties du centre vers la circonférence ou vers la surface sphérique, & qui s'exerce dans le repos de ces parties indépendamment de tout mouvement circulaire : car dans le cas de ce mouvement, & abstraction faite du ressort, la petite bulle auroit plus de force pour se dilater que la grande.

Mais enfin, & tout cela posé, par quel principe la grande bulle d'air a-t-elle plus de force pour se dilater que la petite, de cela seul que sa surface est moins courbe ou moins convexe ?

On sait que de deux cordes d'égale longueur, mais inégalement tendues, & sur chacune desquelles on auroit appliqué un poids égal, ou une infinité de poids égaux & dont les sommes seroient égales, celle des deux cordes qui fléchiroit le moins, qui se courberoit le moins, ou qui feroit les angles les plus obtus à chaque point de la suspension d'un poids, seroit la plus tendue ; ou, réciproquement, que toute corde plus tendue qu'une autre qui lui est égale, sera moins courbée par les poids qu'on y appliquera, pourra soûtenir de plus grands poids, sans se courber davantage, ou aura plus de force pour repousser des poids égaux, & résister à des impulsions égales.

Appliquons ce principe à deux surfaces, qu'on peut concevoir comme composées d'une infinité de lignes, ou de filets, si on les suppose de quelque épaisseur, comme des toiles. Nous dirons de chacun de leurs points physiques ou des filets indéfiniment petits qui les composent, ce que nous venons de dire des deux cordes, cette surface sera d'autant moins courbée par des impulsions égales, qu'elle sera plus tendue. Et comme

la surface entière de chacune des deux bulles n'est que la somme de tous ses points physiques, on en conclura de même, que la bulle dont la surface est moins courbe ou moins convexe, c'est-à-dire, la plus grosse bulle, doit avoir plus de force que la petite, pour se dilater, ou pour crever par sa surface, ou, ce qui revient au même, pour écarter les parties du liquide ambiant, & en augmenter le volume; quoique l'air qui la gonfle & qui en distend la superficie n'ait pas plus d'élasticité que celui qui gonfle & qui distend la superficie de la petite.

Les grandes bulles d'air qui se forment dans l'eau pendant sa congélation ont donc plus de force pour se dilater, & pour en augmenter le volume, que les petites, ou que n'en avoit le même air subdivisé en une infinité de petites bulles dispersées dans toute la masse du liquide; & ceci doit s'entendre également des bulles imperceptibles comparées les unes aux autres, & entre lesquelles il peut y avoir de très-grandes différences de petitesse. Donc, &c.

Cette explication, ou plûtôt cette démonstration suffit pour ceux qui ne voudront pas entrer dans le détail géométrique, & la note * qu'on trouvera ci-dessous y suppléera pour les autres.

* Toute cette théorie étant, comme on voit, réductible à celle de deux cordes égales, *ABC*, *DEF*,

Revenons présentement à la manière dont l'air est contenu dans l'eau & invisiblement mêlé avec elle pendant son état de liquidité. Car s'il y est logé dans les interstices des parties intégrantes du liquide, & sous une forme moins favorable à l'action de son ressort, que la forme globuleuse ou sphérique, comme nous l'avons déjà insinué, tout ce que nous venons de dire des bulles d'air, par rapport à l'augmentation de volume de l'eau qui se glace, acquiert une nouvelle force.

(*Planche II, numéro 1, à la fin du volume*) arrêtées par leurs bouts, différemment tendues, & au milieu de chacune desquelles on auroit suspendu un poids égal, *P, Q;* soient les deux cordes imaginées comme deux arcs infiniment petits d'un grand cercle de chacune des sphères ou bulles dont on veut comparer les forces, savoir, *ABC* de la grande, & *DEF* de la petite: ou, ce qui revient au même, soit imaginée chacune de ces cordes ainsi chargée d'un poids, comme deux côtés infiniment petits, *AB, BC,* & *DE, EF,* du cercle correspondant, & soit *AB* prolongé en *T,* & *DE* en *X.* On sait par les principes de Statique, que le poids *P* est à la force avec laquelle la corde *ABC,* ou la moitié *AB* ou *CB,* est tendue, comme le sinus de l'angle *TBC* est au sinus de l'angle *CBH;* & que le poids *Q* est à la tension de la corde *DEF,* ou de chacune de ses moitiés, comme le sinus de l'angle *XEF* est au sinus de l'angle *FEI.* Supposé maintenant, comme il suit de l'hypothèse, que les angles *TBC, XEF,* soient infiniment petits, les angles *HBC, IEF,* pourront être pris pour des angles droits, & les petits angles *TBC, XEF* eux-mêmes, pour leurs sinus. Ainsi le poids *P* sera à la tension de la corde *ABC,* comme *TBC,* ou son sinus, est au sinus

Nous n'avons à consulter là-dessus que l'expérience.

Le volume de deux liqueurs mêlées ensemble n'est pas toûjours égal à la somme des volumes des deux liqueurs séparément, & il est souvent plus petit. Par exemple, deux parties d'eau, & une d'esprit de vin, faisant en tout & séparément 3 de volume, ne feront, étant mêlées ensemble, que 3 moins la 20me partie du volume de l'esprit de

total ; & le poids Q à la tension de la corde DEF, comme l'angle XEF, ou son sinus, au sinus total. Mais les poids P, Q, sont égaux ; donc réciproquement la tension de la corde ABC sera à la tension de la corde DEF, comme l'angle XEF, ou son sinus, est à l'angle TBC ou à son sinus : d'où il suit que quoique les poids P & Q soient égaux, ils ne laissent pas de produire ou de nous indiquer différentes tensions dans le cas où les deux parties des cordes ABC, DEF font des angles différens. Mais, *par hyp.* les parties AB, BC, & DE, EF, ne sont ici que des côtés infiniment petits de deux polygones infinitilatères ou de deux cercles dont les courbures sont exprimées réciproquement par les angles ABC, DEF, ou directement par les externes TBC; XEF, & ces courbures sont réciproquement entr'elles comme les rayons de ces cercles; donc les tensions produites ou indiquées par les poids P & Q, sur deux cordes, ou, comme on l'a vû, sur deux surfaces ou deux enveloppes sphériques, ou enfin les forces expansives de deux bulles d'air de différente grosseur, sont entr'elles comme leurs rayons; C, Q, F, D, Cette théorie est la même que celle de feu M. Jean Bernoulli, sur le gonflement ou la force des muscles, par l'introduction d'un fluide quelconque, & sur la courbure des voiles, par l'impulsion du vent.

vin, ou d'un 60me du total *. Quelques parties de l'une des deux liqueurs se logent donc dans les vuides ou les interstices de l'autre, ou quelques parties des deux à la fois se mêlent ainsi réciproquement les unes avec les autres; & il y a grande apparence que quelque chose de tout pareil arrive à l'air qui est contenu dans l'eau. Lorsqu'on remplit d'eau ou de quelqu'autre liqueur un vaisseau déjà plein de cendres bien tamisées & bien tassées, il n'en contient guère moins en cet état, que s'il avoit été vuide de toute autre matière.

Nous dirons de l'air qui est ainsi contenu dans un liquide, ou de quelqu'autre manière que ce soit, différente de la forme sous laquelle nous le respirons, & comme délayé dans ce liquide, qu'il y est *intimement* mêlé, & de l'autre, de l'air ordinaire, que c'est de l'air *en masse*.

Tous les corps, tant solides que liquides, contenant une très-grande quantité d'air, comme on en peut juger par celui qui en sort, on ne peut douter que la plus grande partie de cet air qui vient d'en sortir, n'y fût intimement mêlé, soit par le volume qu'il occupe, soit par la difficulté qu'il y auroit à le réduire en aussi petit volume qu'auparavant;

* Voyez les exp. de M. de Reaumur sur ce sujet, *Mém. de l'Acad.* 1733, p. 165.

& par la force qu'il y faudroit employer.

Une expérience aſſez connue, & que nous devons au célèbre Géomètre que je viens de citer dans la note précédente, nous en fournit un exemple remarquable *(a)*. Il en a conclu, que l'air contenu dans un grain de poudre à canon avant l'inflammation, n'y tient pas la centième partie de la place qu'il occupe après l'inflammation, & lorſqu'il a été refroidi au même degré que l'air d'alentour. On ne ſauroit dire cependant que l'état de cet air dans le grain de poudre, avant l'inflammation, conſiſte en quelque choſe de pareil aux condenſations ordinaires de l'air en maſſe; car il eſt clair par mille autres expériences, qu'il auroit alors beaucoup plus de force qu'il n'en faut pour écarter les parois qui le contiennent, briſer & diſſiper les parties friables & peu liées du grain de poudre, & s'échapper d'entre leurs interſtices. Il faut donc qu'il y ſoit ſous une forme toute différente.

Je ſais que deux habiles Obſervateurs *(b)*

(a) Jean Bernoulli, *Diſſ. de Efferv. & Ferment. nº 22.* La même expérience eſt encore plus circonſtanciée parmi celles de Haukſbée, imprimées & traduites en italien à Florence, p. 60. Et il réſulte enfin de pluſieurs autres expériences, que le volume d'air qu'on tire d'une matière égale ſouvent 200 ou 300 fois celui de la matière d'où il eſt ſorti. *Leç. de Phyſ. de M. l'Abbé Nollet, t. 3, l. 10, exp. XIX.*

(b) Mrs 'sGraveſande & Deſaguliers.

qui ont répété la même expérience avec beaucoup d'art, ont attribué cet effet à une véritable production de nouvel air, causée par l'inflammation de la poudre. Cette différente explication du fait ne changeroit rien à l'usage que j'en prétends faire, puisque j'en pourrois dire autant de l'air qui se répand dans l'eau pendant la congélation, & en déduire de même l'expansion ou la légèreté de la glace. Mais j'avoue que je ne saurois recourir à une nouvelle production, tandis que je puis concevoir les mêmes effets par le seul changement d'état & de situation des parties. Sans compter qu'il se mêle ici, selon moi, une autre cause dont il n'est pas temps de parler, n'en ayant pas établi le principe, & qui suffira pour ramener la conclusion de M. Bernoulli à ses justes limites.

Il résulte d'une expérience de M. Mariotte, rapportée dans son *Essai de la nature de l'air*, qu'on peut faire sortir d'une goutte d'eau par la chaleur, une quantité d'air égale à 8 ou 10 fois le volume de la goutte. Que seroit-ce si cet air y avoit été sous sa forme ordinaire & élastique, comme il est dans un ballon ! Le liquide auroit-il résisté à son effort ! Il y a donc infiniment plus d'apparence qu'il y étoit intimement mêlé, & de la même manière qu'il s'y insinue de nouveau, & qu'il s'y dissout, après qu'on l'en a purgée.

Mais voici encore quelque chose de plus positif pour notre sujet. J'ai mis dans la machine pneumatique un vaisseau plein d'eau de trois ou quatre pouces de diamètre, & d'autant de hauteur, &, après m'être assuré de sa pesanteur spécifique actuelle ou de sa densité, par le pèse-liqueur, j'en ai pompé l'air à différentes reprises, & dans l'intervalle d'un ou deux jours, observant que la température de l'air extérieur fût à peu près la même pendant toute la durée de l'expérience. J'y ai replongé ensuite le pèse-liqueur, & il s'y est toûjours enfoncé comme auparavant, ni plus ni moins. L'air qui en étoit sorti, & en très-grande quantité, n'y occupoit donc pas un espace sensible. Car on sait que la pesanteur spécifique des matières, & leur volume, sont des grandeurs relatives ; l'une ne peut diminuer sans que l'autre n'augmente, & au contraire ; & si l'une demeure la même, l'autre ne change pas. La même expérience avoit été faite par M. Huguens, quoiqu'à toute autre intention, & d'une manière très-différente *(a)*, comme aussi par M. Boyle *(b)*.

Il est donc certain que l'air n'est pas dans l'eau pendant qu'elle est liquide & avant qu'elle approche de la congélation, de la même manière que pendant sa congélation;

(a) Journ. des Sav. 25 Juillet 1672.
(b) *Phil. Transf. n° 62.*

lorsqu'il s'y rassemble en masse, ou en bulles plus ou moins grosses ; & nous en avons suffisamment indiqué les conséquences, par rapport au plus grand volume qu'il y doit produire pendant qu'elle se glace.

CHAPITRE VI.

Seconde cause de l'augmentation de volume pendant la congélation, le dérangement qui survient aux parties intégrantes de l'eau, par la sortie ou le dégagement de l'air d'entre leurs interstices.

EN parlant de l'air qui se dégage des interstices de l'eau, soit par le ressort qui lui reste, soit par sa légèreté, ou par les nouveaux mouvemens de la matière subtile aux approches de la congélation, nous avons presque toûjours considéré le liquide comme immobile relativement à cet air qui s'y insinue, ou qui s'en dégage ; & nous avons été conduits à l'imaginer ainsi, parce qu'à volume égal, l'eau contient environ huit à neuf cens fois plus de matière propre que l'air, & que de deux corps qui par une force quelconque tendroient l'un vers l'autre, celui dont la masse surpasseroit comme infiniment celle de l'autre, pourroit être censé en repos, tandis que cet autre iroit

vers lui. Mais le mélange de deux ſubſtances étant un effet purement réciproque, rien n'empêche que nous n'imaginions également, que c'eſt l'eau qui s'inſinue dans l'air, comme nous avons imaginé ci-deſſus qu'elle s'imbiboit dans la cendre, & que c'eſt l'eau qui ſe dégage de l'air, ſelon que l'une ou l'autre idée conviendra davantage à nos explications, & en pourra faciliter l'intelligence.

Cela poſé, & que les parties intégrantes de l'air ſoient rameuſes ou ſpirales *(a)*, & celles de l'eau un peu oblongues, comme des cylindres arrondis par leurs bouts, ou comme des ſphéroïdes oblongs *(b)*, nous pouvons indifféremment ſuppoſer, que dans leur mélange intime les particules de l'air ſe ſont roulées ſur ces cylindres, ou que les particules de l'eau ſe ſont logées dans les ſpires de l'air, ou l'un & l'autre à la fois.

Après quoi il eſt aiſé de concevoir que le mouvement intérieur ou l'ébullition qui ſurvient à l'eau qui ſe glace, toûjours d'autant plus ſenſible que le froid eſt plus grand, & que la congélation eſt plus prompte, ce trouble inteſtin que nous avons décrit dans le Chapitre III de cette Section, eſt une cauſe ſuffiſante du dérangement & de la tranſpo-

(a) Suprà, p. 47 & 48.
(b) Suprà, p. 107.

fition des parties du liquide, par rapport à la fituation qu'elles avoient entr'elles dans fon état parfait de liquidité. Or la matière fubtile & les molécules de l'air, qui fe dégagent alors d'entre les interftices de l'eau, heurtent violemment fes parties, en détournent plufieurs de leur direction commune qui tendoit vrai-femblablement au parallélifme, & les fait porter tranfverfalement & irrégulièrement les unes fur les autres. La figure oblongue que nous leur avons attribuée, foit à chacune en particulier, foit aux petits paquets qui s'en affemblent, & qui fe manifeftent dans les filets de glace, favorife la poffibilité de cette pofition différente, & de ce changement de direction. Imaginez un grand amas de pièces de bois cylindriques exactement empilées felon leur longueur, & de façon que chaque pièce porte également fur les deux inférieures qui la foûtiennent, & rempliffe autant qu'il eft poffible la gouttière qu'elles forment. Jettez çà & là dans l'intérieur de cet affemblage, de petites cordes qui s'ajuftent entre fes intervalles, ou qui s'entortillent autour de quelques-unes des pièces qui le compofent : telle nous imaginerons à peu près la difpofition des parties de l'eau avec l'air qu'elle contient, ou du moins la difpofition où ces parties tendent le plus conftamment, & où elles paroiffent fe maintenir le plus qu'il eft pof-

ſible pendant ſa liquidité. Introduiſez préſentement quelque fluide agité, un torrent, dans cette pile de bois; arrachez ſoudainement les cordages qui s'y trouvent mêlés ou entortillés, il eſt évident qu'il s'en enſuivra un dérangement univerſel, que telle pièce de bois, par exemple, dont la poſition étoit parallèle par rapport à ſes voiſines, les croiſera, que telle autre formera le chevron avec elles, & enfin que toutes ou preſque toutes ſortiront de la direction où elles étoient les unes à l'égard des autres. Il n'eſt pas moins évident que ce nouvel amas doit occuper plus de place, par ce ſeul dérangement de parties, qu'il ne faiſoit auparavant. Or c'eſt-là ce que je crois qui arrive à l'eau prête à ſe geler. La matière ſubtile intérieure qui ſe dégage & qui ſe meut alors plus irrégulièrement dans ſes interſtices, par l'interruption de ſon équilibre avec l'extérieure, y produit le même trouble & le même dérangement que le torrent que nous avons introduit dans la pile de bois; & l'air mêlé avec l'eau ou entortillé avec ſes parties venant à s'en détacher par la même cauſe, & par la colliſion mutuelle de pluſieurs d'entr'elles, y tient lieu des cordages que nous y avons ſuppoſés; avec cette différence que les particules d'air ont du reſſort, que leur reſſort s'exerce déſormais avec plus de liberté, & qu'elles augmentent par-là le

gonflement général de la masse, comme nous l'avons expliqué.

L'augmentation de volume en conséquence du seul dérangement des parties, pourroit aller beaucoup plus loin que celle dont nous avons besoin pour expliquer ce qui arrive à l'eau glacée; le plus petit changement suffit pour cela. Car, par exemple, si au lieu d'imaginer la pile de bois entassée comme ci-dessus, on suppose seulement que chaque pièce de bois y porte à angles droits sur son inférieure, que toute la pile soit formée de plusieurs couches horizontales, où les pièces cylindriques, sans cesser de se toucher, portent transversalement les unes sur les autres, c'est-à-dire, que toutes celles de la première couche étant dirigées du midi au septentrion, toutes celles de la seconde le soient de l'orient vers l'occident, & ainsi de suite; il est aisé de démontrer qu'il en naîtra un volume, qui est au précédent comme 2 à la racine de 3, ou environ comme 7 à 6. Ce qui suffiroit pour expliquer le gonflement ordinaire de l'eau qui se glace; & à plus forte raison des arrangemens ou des dérangemens qui laisseroient de plus grands vuides, seroient-ils suffisans.

CHAPITRE VII.

De l'angle sous lequel les particules de glace & les parties intégrantes de l'eau affectent de s'unir & de s'assembler entr'elles pendant la congélation.

AVANT que de passer à la troisième cause de l'augmentation de volume dans l'eau qui se glace, il convient d'en préparer l'intelligence par l'établissement d'un fait, qui est lui-même très-curieux & très-important. C'est du moins un nouveau point de vûe sur ce sujet, une conjecture que je ne dois pas négliger de proposer.

Une infinité d'observations & d'expériences m'ont persuadé que les particules de l'eau qui se glace, tendent à s'assembler entr'elles, & par leurs filets sensibles, sous un angle de 60 degrés, ou de 120 qui en est le complément à deux droits, & cela quelquefois avec une justesse que la plus exacte pratique en Géométrie ne peut qu'imiter, & ne sauroit surpasser.

On a vû ci-dessus que la congélation de l'eau commence par des filets, de petites aiguilles droites, ou de petites lames, comme des canifs dont le tranchant seroit tourné en en-bas; que ces filets venant à se

ſe multiplier les uns près des autres, & à former des paquets de fibres, des plans ou des réſeaux quelconques, vont ſouvent ſe joindre à d'autres paquets ſous divers angles, par rapport à la direction des fibres ou des aiguilles de l'un, & à la direction des fibres ou des aiguilles de l'autre, qu'il en réſulte quelquefois des compartimens à la ſuperficie de la glace, & comme un aſſemblage de champs diverſement ſillonnés, tels qu'on les repréſenteroit ſur une carte topographique ou ſur le plan d'une campagne; des feuilles avec leur nervure, des plumes avec leurs barbes, & cent autres figures plus ou moins régulières que nous avons inſinué n'être pas auſſi indéterminées ou auſſi fortuites qu'on pourroit ſe l'imaginer. Et nous avons donné en même temps un moyen facile de vérifier, de répéter ſouvent l'expérience, & de rendre ces figures très-viſibles ſur une lame ou pellicule de glace *; car ce n'eſt qu'à force de voir & de revoir ce phénomène, qu'on y démêlera cette affectation des filets de glace à ſe joindre ſous un certain angle déterminé, que je dis être de 60 degrés.

J'avoue que la variété qui règne dans ces figures de la ſuperficie de la glace, & même quelquefois dans les angles ſous leſquels les filets rencontrent latéralement leurs voiſins,

* Page 83. Voy. *Planche I.*

y couvre, pour ainſi dire, la loi ou la tendance générale que j'ai cru y apercevoir: car, dira-t-on, parmi tant de haſards, il doit aſſurément y en avoir quelqu'un qui nous donnera l'angle de 60 degrés., ou de 120 qui en eſt le complément. Mais j'en fais juge quiconque voudra ſe donner la peine de le vérifier ; ce prétendu haſard arrive trop ſouvent, & d'une manière trop marquée pour n'avoir pas une cauſe déterminante.

Il faut d'abord ſe munir d'un étalon de cet angle, d'une lame de métal ou de carte, qui en ſoit l'exacte meſure. Trois arcs de cercle qui ſe coupent réciproquement, & ſous une même ouverture de compas, donneront de quoi former un triangle équilatéral, dont on ſait que chaque angle vaut 60 degrés. J'ai appliqué mille fois un ſemblable triangle ſur ces ſillons d'un champ qui vont rencontrer ceux du champ voiſin, ſur la nervure qui part de la côte d'une de ces feuilles, ſur les barbes de plume, inclinées de même à une tige commune, & j'ai été ſurpris de la préciſion avec laquelle il s'y ajuſtoit par ſes côtés & par ſes angles.

Ce n'eſt pas ſeulement les uns aux autres que les filets de glace affectent de ſe joindre ſous un angle de 60 ou de 120 degrés, mais encore à toutes les ſurfaces polies des matières qui leur ſont analogues &

auxquelles ils s'attachent aiſément, telles que le verre, la fayence, la porcelaine, &c. je m'en ſuis particulièrement aperçu en faiſant geler l'eau dans des vaſes de figure ronde; & la raiſon en eſt, que cette figure réſultant du tour ſur lequel ils ont été travaillés, leurs parois & leurs bords ont preſque toûjours par-là une hardieſſe de trait & un poli uniforme qu'on ne voit point dans ceux qui ſont à pans ou à parois rectilignes. On y remarquera donc aſſez ſouvent de ces grands filets de glace qui tiennent par un de leurs bouts à la ſurface intérieure, & qui font avec la tangente menée ou imaginée par le point de contact, un angle de 60 ou de 120 degrés.

Je n'ai guère jugé d'abord de la valeur de cet angle avec la tangente, que par eſtime, à la vûe ſimple, ou en appliquant une règle au point de contact; mais le haſard m'a fourni là-deſſus plus d'une fois un moyen de vérification auquel je ne me ſerois pas attendu. Il m'a fait rencontrer de ces longs filets de glace qui ſe joignoient aux parois du vaſe par leurs deux bouts, & qui devenoient par conſéquent la corde ou la ſoûtendante d'un arc de ſa circonférence : j'ai pris la longueur de cette ſoûtendante avec le compas, je l'ai portée ſur le reſte de la circonférence du vaſe, & elle m'en a donné le tiers tout juſte, ou ſenſiblement tel : c'eſt-

à-dire, que trois de ces cordes y auroient inſcrit un triangle équilatéral, ce qui, comme on ſait, ne peut arriver ſans que l'angle de la corde avec la tangente ne ſoit de 60 ou de 120 degrés. Je ne dis pas que cela arrive toûjours, mais quelquefois, & plus ſouvent que le ſimple haſard ne le comporte *(a)*.

Les congélations des liqueurs aqueuſes & lixivielles ou urineuſes, donnent cet angle d'une manière plus conſtante & plus marquée.

On pourroit croire que ce ſont les ſels contenus dans ces liqueurs qui déterminent les parties de l'eau ou ſes filets de glace à prendre entr'eux cette inclinaiſon qu'ils ne prendroient pas toûjours par eux-mêmes; mais les cryſtalliſations de ces ſels donnant des figures très-différentes, pourquoi n'y en a-t-il qu'une qui ſe développe, & qui indique toûjours l'angle de 60 degrés dans la congélation des liqueurs où ils ſont diſſous, ſoit pures, ſoit mêlées avec une grande quantité d'eau ordinaire? Tous ces ſels, dis-je, ſont différens & différemment raſſemblés dans la même liqueur. L'urine ſeule en contient un grand nombre d'eſpèces *(b)*; du volatil,

(a) Une de ces cordes eſt repréſentée dans la figure de la *Planche I.*

(b) V. le Mém. de M. Geoffroy *ſur la nature & la compoſition du ſel ammoniac.* Mém. de l'Acad. 1720, p. 197.

du fixe, du ſel ammoniac, qui ſe cryſtalliſe en grumeaux de neige ou de farine, du ſel marin, qui donne des cubes, &c. Tous ces différens ſels avec leurs cryſtalliſations particulières concourroient-ils à ne donner dans nos congélations aqueuſes que l'aſſemblage conſtant de filets ſous le même angle ! Il eſt bien plus naturel de croire que les particules de ces ſels, disjointes & parſemées çà & là dans la partie purement aqueuſe & plus abondante de la liqueur, ne faiſant qu'y interrompre le cours réglé de la matière ſubtile dans l'eau, laiſſent à ſes parties intégrantes une plus grande liberté de ſe joindre entr'elles, ſelon la tendance ou l'inclinaiſon qui leur eſt propre: ce qui détermine le total du mixte dans ſa congélation à ne donner que des filets de glace aſſemblés ſous cette tendance générale. Je penſe auſſi que les particules ſalines de l'urine unies à celles de l'eau en augmentent le reſſort & la roideur dans la congélation, & favoriſent d'autant par-là l'effet de leur tendance. C'eſt ainſi apparemment que les ſels en général augmentent l'émiſſion & la force des particules odorantes des végétaux lorſqu'ils y ſont mêlés avec un peu d'humidité.

Nous aurons occaſion dans la ſuite de parler des figures que produiſent les congélations des leſſives qu'on tire des cendres

des plantes brûlées. Arrêtons-nous présentement à la congélation de l'eau mêlée d'urine, ou de l'urine même.

Si l'on expose cette liqueur, encore récente, quoique cette condition ne soit pas absolument nécessaire, à la gelée, dans quelque grand vaisseau évasé, tel qu'une assiette ou un bassin, on y verra bien-tôt toute la superficie de la glace gravée, ou plûtôt sculptée en bas-relief* des figures que nous avons décrites ci-dessus, dont les filets ou les hachures feront toûjours avec quelqu'autre semblable amas de filets, ou avec un autre filet plus ou moins grand, un angle de 60 ou de 120 degrés, selon que la cause méchanique de l'attraction de ce filet, contigu ou voisin, sera plus efficace. Les bords du vase l'emporteront aussi quelquefois sur les filets prochains, & c'est contre leurs parois intérieures, & relativement à la tangente du point de contact, que se manifestera l'angle de 60 degrés. Il résultera de tout cet assemblage, tantôt de grandes étoiles à six rayons, qui étant pris deux à deux avec ces filets qui s'y joignent obliquement & en convergence vers le centre, représenteront trois pièces d'une croix de Malte, tantôt des feuilles de trois ou quatre pouces de longueur, dont la nervure rectiligne aboutit de part & d'autre à la même côte, ou un peigne à deux

* En relief, par la raison qui en a été donnée, *sup. p. 108.*

rangs de dents obliques à ſa *traverſe*, & cent autres figures, ſelon que ces compartimens ſeront diverſement diſtribués, par les circonſtances que nous venons d'indiquer. Après quoi l'on peut hardiment promener le triangle rectangle ſur cette eſpèce de marqueterie, il s'ajuſtera par-tout entre les filets du premier & du ſecond ordre, ou même d'un troiſième & d'un quatrième ordre, avec une juſteſſe ſurprenante *.

Un plus petit vaſe, & d'environ quatre pouces de diamètre, m'a preſque toûjours donné une de ces feuilles, ou un de ces peignes en pointe, dans toute ſa longueur, comme dans le grand vaiſſeau plat, c'eſt-à-dire, de près de quatre pouces de longueur; ce qui ſembleroit indiquer que malgré cette variété de grandeurs que l'on remarque ici, il y en a une entre les limites de laquelle ces congélations tendent à s'arrêter, comme

* J'ai tâché de repréſenter une de ces congélations dans la *planche III*; mais je n'y ai réuſſi que bien imparfaitement. J'ai manqué d'art, d'adreſſe & de patience; ſans compter que ne pouvant guère ſoûtenir ce travail qu'en un lieu tempéré, la glace commençoit à ſuer, à fondre, les traits diſparoiſſoient, & j'étois bien-tôt obligé à les tracer de mémoire. Ainſi l'on peut s'aſſurer que bien loin qu'il y ait rien d'outré dans la figure par rapport à cette régularité d'angles & à la ſingularité de ce tiſſu, tout y eſt au contraire fort au deſſous de ce que j'ai ſouvent obſervé dans la Nature. J'y ai négligé la plûpart des ſubdiviſions en troiſièmes & quatrièmes filets, &c.

on l'obſerve dans pluſieurs autres concrétions tant foſſiles que provenant du genre animal & du végétal.

CHAPITRE VIII.

Exemples & inductions en faveur de cette tendance.

LA préciſion d'un angle de 60 degrés, ſous lequel je dis que s'aſſemblent les particules de l'eau qui ſe glace, lorſqu'elles en ont la liberté, ne ſurprendra point ceux qui ont un peu étudié la Nature. Il ſeroit peut-être plus extraordinaire, & par-là plus merveilleux, que les parties de l'eau, en ſe glaçant, n'euſſent point entr'elles quelqu'un de ces arrangemens particuliers & déterminés que l'on remarque dans preſque tous les autres corps qui ſe cryſtalliſent. Cependant comme cette propriété pourroit paroître encore bien paradoxe, qu'il me ſoit permis d'en rapporter ici quelques exemples. Il y en a tel qui prouvera du moins qu'on n'a pas toûjours vû dans ce genre des ſingularités qu'on avoit eues mille fois ſous ſes yeux.

Ces mêmes congélations urineuſes dont nous venons de parler, & qui ſont ſi régulières, ſi rectilignes & ſi conſtamment aſſujéties à l'angle de 60 degrés, ou de 120

ſon complément, comment les a-t-on vûes! comme des rameaux courbes & arqués de fougère ſortant de leur tige ſous différens angles indéterminés & fortuits, de 40 ou 50 degrés *, ſans que rien puiſſe nous indiquer, dans les deſcriptions & dans les figures qu'on en a données, cette direction & cette conſtance angulaire qui ſautent aux yeux.

Nous avons déjà dit un mot de la régularité avec laquelle les ſix globules du ſang, qui en compoſent un plus gros, s'ajuſtent enſemble pour le former; ce qui aſſurément ne ſauroit ſe faire ſans une tendance dont la direction des uns vers les autres ne ſoit bien déterminée. Quatre petits globules ſe touchent quarrément, un cinquième eſt poſé ſur le vuide qu'ils laiſſent au milieu du quarré, & un ſixième ſe place au deſſous à l'oppoſite de celui-ci.

Les ſix enſemble venant à ſe comprimer les uns contre les autres par une force quelconque, ſont réduits à ne former qu'une ſphère polie, à la ſurface de laquelle on voit ſeulement les traces de leur attouchement & de leur union, en ſix quadrilatères curvilignes, égaux & ſemblables. Chacun des compoſans, qu'on peut appeller du ſecond ordre, eſt lui-même compoſé de ſix autres ſemblablement arrangés, qui ſeront

* V. par ex. Ed. Luidii *Lithophylacii Britannici Ichnographiam*, p. 122, &c.

du troisième, ceux-ci de six autres du quatrième ordre, & ainsi de suite, sans qu'on puisse prescrire un dernier terme à cette progression géométrique & *sénaire.* De manière que, selon Leeuwenhoek qui les a vûs au microscope, & qui nous en a détaillé la structure, chacun des gros globules du sang est au moins composé de 36 globules ainsi décroissans *. Dans le sang de certains poissons, ce ne sont plus des globules, mais de petits corps ovalaires qui ont un vuide au milieu, comme des anneaux, ou plûtôt comme des chapelets de plusieurs grains de semblable figure, qui se touchent, comme seroient plusieurs pierres d'aimant, par leurs poles; car je ne doute point qu'il n'y ait ici quelque chose de fort analogue aux tendances magnétiques, tant à l'égard de ces particules rouges du sang des poissons, que des globules du sang humain. Les plus petites de ces parties, visibles au microscope, surpassent des millions de fois en petitesse un

* On en peut voir les figures, *Pl. II, num. 2. figg. G, L, M, N,* d'après cet Auteur, *Arc. Nat. det. t. 3. Ep. 128,* & mieux encore d'après M. Martine, *Essais & Obs. d'Edimb. t. 2. G* représentant les six globules qui en composent un gros, *L,* dont le diamètre est par conséquent à celui de chacun des petits, en raison de la racine cubique de 6 à la rac. cub. de 1, ou très-approchant, comme 20 à 11; ce qu'il faut imaginer de même en sous-ordre de chacun des petits, *G.* Le sixième globule de ce grouppe est censé au-dessous de celui qui occupe le milieu entre les quatre.

grain de sable, quoique apparemment elles soient des millions de fois plus grosses que les parties intégrantes de l'eau, dont aucun instrument d'optique n'a pû jusqu'ici nous faire apercevoir la figure ni la grosseur. Voilà ce qui nous manque pour découvrir dans celles-ci un méchanisme que nous ne pouvons leur attribuer que par conjecture, & d'après certains phénomènes.

Les sels, comme nous l'avons déjà fait entendre, affectent & retiennent constamment certaines figures, certains arrangemens de parties dans leurs crystallisations. Les uns, comme le sel marin, donnent des cubes ou des pyramides un peu creuses, dont les aiguilles sont parallèles aux côtés du quarré & autour du centre des trémies dont ces cubes sont formés; les autres des prismes à pans, égaux ou inégaux, des aiguilles, des polyèdres de différente espèce.

Les morceaux de crystal d'Islande sont autant de parallélépipèdes obliques, dont les six faces prises deux à deux forment alternativement entr'elles des angles aigus de 78 degrés 8 minutes, & des angles obtus de 101 degrés 52 minutes, complémens réciproques les uns des autres à deux droits *, comme le sont dans la glace de l'eau les angles de 60 & de 120 degrés.

Il en est de même de la plûpart des

* Huguens, *Tr. de la Lumière, c. 5.*

foſſiles, ſoit cryſtallins, ſoit métalliques, dans leurs concrétions, des pierres figurées de toute eſpèce, & ſur-tout des pyrites formées comme de petits dés, tant cuivreuſes & dorées, que ferrugineuſes & arſénicales ou blanches, dont il ſemble que la ſtructure admirable, toute viſible qu'elle eſt ordinairement ſans le ſecours de la loupe & du microſcope, ait échappé aux Naturaliſtes: du moins ne trouvai-je nulle part qu'ils en aient parlé.

Ce que je remarque donc de plus ſingulier dans cette conſtruction, & qui vient parfaitement à notre ſujet, c'eſt que ces pyrites cubiques, ou parallélépipèdes rectangles, toutes compoſées de petites aiguilles de même matière, ont toûjours régulièrement ces aiguilles dirigées à angles droits les unes à l'égard des autres; non ſur un même plan, comme celles de la ſuperficie de la glace, ſous l'angle de 60 ou de 120 dégrés, mais par rapport à celles des autres faces du cube: c'eſt-à-dire, qu'elles ſont parallèles entr'elles ſur chacune des ſix faces du cube, & perpendiculaires à celles de chacune des quatre faces contigues, qui par la nature du cube ou du parallélépipède rectangle ſont elles-mêmes perpendiculaires l'une à l'autre *.

Si ce n'étoit ici qu'un amas fortuit de paillettes métalliques, indéterminées par

* V. *Planche II, num. 3, fig. C.*

elles-mêmes, & ſans aucune cauſe, aucun fluide interne ou externe qui les dirigeât, elles ne s'arrêteroient pas toûjours à ne former que des cubes ou des grumeaux de cubes, comme elles font quelquefois, elles ne ſeroient pas toutes parallèles. Si elles étoient toutes parallèles entr'elles, elles pourroient ne l'être pas à deux côtés oppoſés de la face quadrilatère, & perpendiculaires aux deux autres. Si elles ſe trouvoient ainſi diſpoſées ſur l'une des faces, elles ne le ſeroient pas toûjours de même ſur les autres, elles les couperoient ſous un angle quelconque; mais pourquoi toûjours ſous l'angle droit! Comment les fibres ou les aiguilles des quatre faces contigues ſe diſpoſent-elles toûjours de manière à être coupées perpendiculairement par celles de la face contigue! Ce qui eſt même d'abord aſſez malaiſé à imaginer; car les fibres de cette face pourroient être perpendiculaires à celles des deux faces voiſines & oppoſées, & parallèles à celles des deux autres faces ſemblablement oppoſées. Pourquoi enfin n'eſt-ce pas tantôt d'une façon, tantôt de l'autre, en différens cubes! Qu'eſt-ce que de ſimples aiguilles, des paillettes métalliques deſtituées de toute tendance particulière des unes vers les autres, pourroient produire par leur rencontre, que des amas informes & variables dans l'intérieur de la terre, & parmi une

infinité d'autres ſubſtances qui les environnent, qui les heurtent & qui les compriment de toutes parts ?

Mais il y a plus, cette diſpoſition conſtante de fibres n'eſt pas ſeulement extérieure, elle eſt continuée juſqu'au centre du cube, toutes ſes couches, toutes ſes enveloppes ſuivent la même loi : de manière que ce cube peut être conſidéré comme réſultant de l'aſſemblage de ſix pyramides quadrilatères qui ont pour baſe chacune de ſes ſix faces, & leur ſommet à ſon centre. On peut imaginer, dis-je, qu'un ſemblable cube eſt formé par l'appoſition des plans de pareilles fibres les unes ſur les autres, depuis l'extrême petiteſſe du cube naiſſant, juſqu'à l'état où on le voit. Chaque pyramide n'eſt compoſée, par conſéquent, que de plans d'aiguilles ou de paillettes parallèles entre elles, & à celles de la pyramide qui lui eſt directement oppoſée par le ſommet, mais perpendiculaires à celles des quatre pyramides latérales & contigues *: ce que le haſard encore & des arrangemens fortuits ne

* Soit *C* (*Planche II, num. 3.*) le cube pyrite, & *P* l'une de ſes pyramides compoſantes; les hachures parallèles de ces figures repréſentant la direction des fibres, & les points leurs ſections. Si l'on coupe un tel cube par un plan parallèle à deux de ſes faces quelconques, la figure *S* repréſentera la ſection qui paſſe par le centre, & Σ celle qui paſſeroit entre le centre & l'une des faces; cette dernière donnant quatre tra-

ſauroient aſſurément pas produire, & qui ne peut être attribué qu'à une tendance de parties bien déterminée & bien conſtante, quel qu'en puiſſe être le méchaniſme, & quelle qu'en ſoit la cauſe; en un mot, telle que je la conçois dans les aiguilles de la glace, par rapport à l'angle ſous lequel elles ont coûtume de s'aſſembler dans un même plan,

pèzes alternativement hachés & ponctués autour d'un quarré haché perpendiculairement aux deux trapèzes de même eſpèce; & ces trapèzes étant d'autant plus grands, & le quarré d'autant plus petit, que la ſection approchera davantage du centre. Pour mettre ſous les yeux la différence de cette conſtruction d'avec celle que nous avons attribuée ci-deſſus au cube de ſel marin, ſoit *M*, (*Num. 4.*) un de ces cubes, comme on le voit à la loupe ou au microſcope, & *T* l'une des trémies ou pyramides compoſantes, les trémies décroiſſantes qui la rempliſſent s'emboîtant ſucceſſivement les unes dans les autres, depuis la plus grande dont les bords ſe confondent avec les arêtes du cube, juſqu'à la plus petite dont les bords & la pointe ſe confondent ſenſiblement avec le centre de la face du cube. La ſection de ce cube parallèlement à deux de ſes faces & par ſon centre, ne donne qu'un quarré *Q*, rempli de points ou des extrémités des aiguilles coupées dans les pyramides latérales; mais la ſection moyenne, entre le centre & l'une des faces, produira le plan quarré *Z*, compoſé de quatre parallélogrammes rectangles hachés parallèlement à ſes côtés autour d'un quarré au milieu, haché dans les mêmes ſens, & quatre quarrés ponctués aux quatre angles; ces quatre quarrés étant d'autant plus grands, & les parallélogrammes d'autant plus petits, que la ſection approchera davantage du centre. Les ſections obliques des deux cubes *C* & *M*, par les arêtes oppoſées diagonalement, par les angles ſolides, &c. produiroient d'autres ſingularités que je paſſe ſous ſilence.

quoique d'une manière moins invariable, par les raiſons que j'en ai déjà dites, ou que je dirai ci-après.

Toutes ces ſubſtances & cent autres dont je ne parle pas, affectent donc un arrangement déterminé & une direction de fibres qui ne diffèrent de celles des parties de l'eau qui ſe glace que par l'angle ſous lequel elles s'arrangent, & par quelques autres circonſtances, qui bien loin de détruire l'analogie ne font que la confirmer.

Mais terminons ces inductions par quelque choſe de plus poſitif.

CHAPITRE IX.

Preuves directes de la tendance des parties de l'eau à s'aſſembler ſous un angle de 60 degrés.

IL n'eſt pas bien rare qu'il tombe de la neige compoſée ou parſemée d'étoiles à ſix rayons égaux, également diſtans l'un de l'autre, & avec une exactitude que le compas le plus fin & la main la plus ſûre pourroit difficilement nous procurer. Elles ſont tantôt plus petites, tantôt plus grandes, quelquefois de plus de deux lignes de diamètre, mais preſque toûjours obſervables à la vûe ſimple *.

* Voyez-en la figure, à peu près de la grandeur la plus ordinaire, *lettre A*, ſous le *num. 5*, *Pl. II.* Il ſera parlé

Voilà donc de petits filets d'eau ou de glace, qui étant ſuſpendus dans l'atmoſphère, & en pleine liberté d'exercer leurs tendances, ſe sont joints les uns aux autres ſous l'angle de 60 degrés; car ce nombre eſt la 6me partie des 360 degrés que contient le cercle, & par conſéquent la meſure de chacun des ſix angles égaux qui ont leur ſommet à ſon centre.

Mais prenez garde que ces rayons ſe trouvent le plus ſouvent chargés d'autres petits filets de glace qui s'y joignent en ſecond ordre, à ceux-ci d'autres encore en troiſième ordre, &c. & toûjours ſous l'angle conſtant de 60 degrés; ce qui eſt viſible au microſcope, par leur parallélíſme avec le rayon ou filet de l'ordre ſupérieur qui eſt à côté, & dont il réſulte une eſpèce de branchage & de roſette qui ne ſeroit pas indigne de tenir ſa place parmi les ornemens du meilleur goût. M. Muſſchenbroek a obſervé de ces étoiles, hexagones & branchues, où l'angle de 60 degrés ſe manifeſte de toutes parts, & il en a donné une figure qui exprime fort bien tout ce que nous venons d'en dire *. J'en ai vû une fois à Paris de la

des ſuivantes, *B, C, D, F,* ci-après dans la troiſième Section; mais elles peuvent en attendant donner une idée de la variété qui règne dans ces figures, dans des neiges tombées en divers temps, ou en différens pays.

* *Eſſai de Phyſique, p. 806.* Voyez-la dans notre *Pl. II, num. 5, fig. F,* qui eſt, comme on peut juger, beaucoup plus grande que nature.

même eſpèce, quoiqu'un peu moins compoſées. Deux autres ſortes d'étoiles que feu M. Caſſini obſerva dans la neige en 1692*(a)*, ne diffèrent de celles de M. Muſſchenbroek qu'en ce qu'au lieu de ſimples branches qui ſe fourchent en pluſieurs autres, ce ſont comme des rameaux garnis de leurs feuilles; & je ſuis fort trompé ſi ce ne ſont-là encore les étoiles *ſexangulaires* vûes par Képler, le premier, que je ſache, qui en ait fait mention, & qui ſoit entré là-deſſus dans quelque détail *(b)*. Il y en a enfin qui n'offrent à la vûe que ſix rayons pointus, à la manière dont on peint ordinairement les étoiles du Ciel, & de pluſieurs autres figures, qui reviennent toûjours dans leurs parties, à la même loi de l'angle de 60 degrés, & dont le dénombrement ſeroit ſuperflu.

Ce qu'on allégueroit, que ce ſont peut-être les exhalaiſons ſalines élevées dans la même région de l'air qui déterminent les vapeurs aqueuſes & les particules de glace à prendre cet arrangement, ne me paroît d'aucune vrai-ſemblance : car outre qu'on pourroit en dire autant & à plus juſte titre de la partie inférieure de l'atmoſphère où nous obſervons la congélation de l'eau, d'où ré-

(a) Mém. de l'Acad. *To. X, p. 37.*

(b) Strena, ſeu de nive ſexangula, p. 5. . . . flocculi ſparſim in veſtem meam deciderent, omnes ſexanguli, villoſis radiis.

fulteroit indirectement & quant à l'effet la même tendance dans les particules de l'eau, nous répondrons encore ici, que des fels de tant d'efpèces, & dont les cryftallifations font fi différentes, ne fauroient donner toûjours avec cette régularité & cette conftance, le même angle aux particules d'eau ou de glace qui s'arrangent entr'elles.

Defcartes, dans fes Météores, a eu fur ces fortes d'étoiles une idée auffi fimple qu'ingénieufe. Six cercles égaux, décrits autour d'un feptième, le toucheront & fe toucheront entr'eux ; il en fera de même de fix fphères autour d'une feptième fur un même plan, & par conféquent fix gouttelettes d'eau fphériques qui s'affembleront autour d'une de leurs femblables y formeront un fleuron hexagone, ou à fix pointes, fi l'efpace triangulaire qu'elles laiffent entr'elles & celle du milieu eft fuppofé rempli de glace. Et fi l'on imagine qu'enfuite plufieurs autres gouttes ou particules femblables viennent s'ajoûter à la file autour de celles-ci, & fur les mêmes fix rayons qu'elles forment en partant du centre commun, il eft clair qu'il en réfultera une étoile hexagonale : ce qui s'exécuteroit en ce cas fans qu'il y eût aucune force impulfive ou attractive, aucune tendance qui les y déterminât. Voilà en gros l'explication de ce Philofophe ; des cercles ou des globules quelconques mous & flexibles, qui fe com-

primeront ainſi réciproquement les uns autour des autres, ſe changeront toûjours en des hexagones.

Eraſme Bartholin donna en 1661 une Diſſertation ſur les étoiles hexagonales de la neige*, où il adopte totalement l'explication de Deſcartes, qu'il a ſeulement ornée de quelques détails, & d'une érudition qui n'y change rien pour le fond. Il inſiſte beaucoup, & avec raiſon, ſur ce qu'il ne faut expliquer les phénomènes que par voie mathématique, & par le pur méchaniſme. Mais le méchaniſme n'eſt pas moins fondé, en pareille occaſion, ſur le mouvement communiqué aux ſolides ou aux parties intégrantes des corps quelconques par un fluide inviſible qui en détermine l'arrangement, à raiſon de ſa direction & de leur ſtructure interne ou externe, que par la raiſon purement géométrique de leur figure & de leur maſſe. Concevroit-on ſans cela l'arrangement fixe & déterminé de la limaille de fer autour d'une pierre d'aimant! Ainſi lorſque le géométrique pur & inanimé ſe trouve viſiblement inſuffiſant pour produire certains effets, il faut bien avoir recours à ces fluides ſubtils & actifs, dont mille autres effets nous décèlent l'exiſtence.

Je ne doute pas que la théorie de Deſ-

* *De figura nivis*, qu'on trouve à la fin de la Diſſert. de ſon frère (Thomas B.) *De nivis uſu Medico.*

cartes ne puiſſe avoir lieu en une infinité de cas, & n'influe beaucoup ſur l'hexagoniſme ſi ordinaire dans la Nature. Les yeux ou les cryſtallins de la plûpart des mouches, raſſemblés par milliers aux deux côtés de leur tête, ne nous préſentent que des hexagones; les alvéoles des rayons de miel, les capſules des graines de pluſieurs plantes ſont hexagones, & preſque tous les cryſtaux dans leur formation ne conſiſtent qu'en des pyramides ou des priſmes ſexangulaires. Cependant eſt-il bien ſûr qu'il n'y ait dans tous ces cas que la théorie de Deſcartes à conſulter? Le pentagoniſme n'eſt guère moins commun dans la Nature: quantité de plantes nous l'indiquent également par les capſules de leurs graines, & par les pétales ou feuilles de leurs fleurs, les étoiles marines par leurs rayons, pluſieurs foſſiles, & preſque tous les échinites par la diſpoſition de leurs piquans.

Je ne penſe donc nullement que cette théorie ſoit applicable au phénomène dont il s'agit, non plus qu'à une infinité d'autres qui peuvent lui reſſembler.

Car 1° Pourquoi les petits globules d'eau qui compoſent la nue ne s'aſſemblent-ils que ſur un plan? Que deviennent ceux qui ſe trouvent pêle-mêle au deſſus & au deſſous de ce plan? Que pourroit-il jamais ou preſque jamais réſulter d'un tel aſſemblage fortuit, que des grumeaux plus ou moins approchans

de la ſphéricité, des pelotons, comme on en voit quelquefois dans certaines grêles!

2° Par quelle complication de haſards ſix de ces globules d'un ſecond rang circulaire qui, à la rigueur, en contient près de douze & demi autour des ſix premiers, viendroient-ils s'ajuſter préciſément ſur le même plan, ſur les mêmes ſix rayons menés du centre, & ainſi des rangs ſupérieurs! Ne devroient-ils pas plûtôt tomber entre deux globules & dans l'angle formé par les rayons! N'y trouveroient-ils pas plus de facilité à ſe loger! N'y ſeroient-ils pas pouſſés par leurs voiſins des rangs ſupérieurs! Car un corps preſſé de toutes parts par ceux qui l'environnent, ſe dirige toûjours vers le côté où il eſt le moins preſſé, comme ici, par exemple, vers le vuide ou l'intervalle que laiſſeroient entr'elles les extrémités des deux rayons. Ajoûtez que la difficulté de ces haſards, & je pourrois dire l'impoſſibilité, croît en raiſon de la longueur des rayons, par rapport à leur groſſeur; car il y a alors d'autant plus de rangs à imaginer. Or la groſſeur des rayons dans ces étoiles les plus ſimples, ne fait pas quelquefois la 10me partie de leur longueur.

3° Quand nous admettrions contre tous ces principes la formation d'une de ces étoiles à ſix rayons ſimples & dans un même plan, comment concevrions-nous la formation de celles qui ſont plus compoſées, dont les rayons

ſont chargés de branches *, & ces branches d'autres encore, comme dans les arbres, où elles ſe ſubdiviſent à l'infini ! Qu'eſt-ce qui leur fait équilibre contre l'effort ou le heurt des globules d'eau ambians, vers le centre de l'étoile, ou à la partie inférieure du rayon primitif avec lequel elles font un angle de 120 degrés, complément à celui de 60 qu'elles font avec la partie ſupérieure de ce même rayon, & ainſi de ſuite pour les branches qui naiſſent des rayons ſécondaires ! La répétition conſtante de cet effet contre toutes les règles de Statique, ne prouve-t-elle pas & la fauſſeté d'un tel méchaniſme en pareil cas, & la certitude d'une autre cauſe ! Il y a auſſi tout lieu de croire, que Deſcartes, dont le principe eſt d'ailleurs excellent, n'avoit vû que de la neige où les étoiles étoient beaucoup moins compoſées que celles dont nous venons de parler, mais beaucoup plus que celles que nous avons appellées ſimples : c'eſt-à-dire, que leurs ſix pointes ſembloient ſans doute y retenir viſiblement la figure des ſix eſpaces triangulaires que laiſſent entr'eux ſix cercles qui en touchent un ſeptième de même diamètre.

4° Enfin ſi cette propriété de globules qui n'ont d'ailleurs nulle tendance, nul arrangement déterminé les uns à l'égard des autres, avoit lieu en pareil cas, ce qui eſt

* Voy. *Planche II, num. 5, fig. F.*

inconcevable, pourquoi les globules du ſang d'un ſecond ordre ne s'arrangeroient-ils pas de même de ſix en ſix autour d'un autre globule, & dans un même plan ? Car dès que c'eſt la figure & le cas fortuit qui opèrent ces arrangemens, la matière n'y fait rien, & que ce ſoient des gouttes ou des globules de ſang, d'eau, ou de telle autre ſubſtance quelconque, l'effet en doit être le même. Les globules du ſang auroient ſeulement cet avantage, qu'une égalité plus parfaite règne ſenſiblement entre ceux de l'ordre inférieur qui en doivent produire un plus gros ; ce qu'on ne peut pas ſuppoſer de même entre les gouttes d'eau, & qui eſt pourtant requis pour la propriété géométrique. D'où vient, en un mot, que la loi géométrique de l'arrangement hexagonal dans un même plan n'a aucune priſe ſur ces globules ! Car, comme nous l'avons vû dans le Chapitre précédent, ils s'arrangent quarrément & de quatre en quatre ſur ce plan, laiſſant un eſpace vuide au milieu, ſur lequel s'ajuſte un autre globule du même ordre, & un autre au deſſous, pour former le gros globule compoſé de ces ſix ſecondaires, & ainſi de ſuite de ceux du troiſième ordre à l'égard de ceux-ci, &c. Que devient, dis-je, en ce cas la raiſon géométrique des ſix globules autour d'un ſeptième !

Il faut donc reconnoître dans les particules de glace

de glace qui forment les étoiles de la neige, comme dans les globules du ſang, une autre cauſe, une cauſe active, un méchaniſme plus caché, plus compliqué, & dont nous ignorons le détail, une direction de fibres, de pores, ou de tuyaux, &, je ne crains point de le dire, une eſpèce d'organiſation qui rend ces particules ſuſceptibles du mouvement ou de la tendance que leur imprime quelque fluide ſubtil qui ſe meut dans leurs interſtices, ou dans les parties mêmes qui les compoſent, & qui les détermine à cet arrangement conſtant, toûjours relatif à l'angle de 60 ou de 120 degrés.

Nous toucherons encore quelque choſe de ce principe de fait, qui eſt de la dernière importance, dans un des chapitres ſuivans, & toutes les fois que l'occaſion ſe préſentera de le confirmer.

CHAPITRE X.

Troiſième cauſe de l'augmentation de volume de l'eau dans ſa congélation, le dérangement des parties en vertu de leur tendance à former entr'elles un angle de 60 degrés.

CETTE tendance vient d'être prouvée autant que pouvoit le comporter le ſujet : on a vû de plus, & par l'inſpection

même de la congélation de l'eau, ou que ſes parties intégrantes doivent être oblongues, ou que les premiers amas ſenſibles qui en réſultent dans la congélation, ſont oblongs. De ces deux faits ſuit évidemment un principe de dilatation & d'augmentation de volume dans l'eau qui ſe glace. Des parties oblongues qui ſont effort pour ſe joindre & s'agroupper ſous un angle quelconque, doivent néceſſairement s'écarter les unes des autres en divergence du côté opposé à leur jonction, & d'autant plus que cet angle eſt plus grand, ou approche davantage de l'angle droit. Celui de 60 degrés, que toutes nos obſervations nous indiquent comme le plus ordinaire, ſeroit ſans doute beaucoup plus grand qu'il ne faut pour donner l'augmentation de volume de l'eau qui ſe glace, ſi la tendance qui le produit pouvoit s'y exercer dans toute ſon étendue; mais c'eſt vrai-ſemblablement ce qui ne ſauroit arriver dans une maſſe un peu conſidérable d'eau qui ſe gèle, quelque grand que ſoit le froid qui en occaſionne la congélation. La matière éthérée qui en entretenoit la liquidité ne peut l'abandonner, ni aſſez promptement, ni aſſez parfaitement, pour produire un ſi grand effet, qui n'a lieu que ſur de petites particules d'eau d'où cette matière peut aiſément s'échapper de toutes parts, & paſſer dans le milieu envi-

ronnant, lorſque par ſa ſtructure le corps ſolide ou fluide qui conſtitue ce milieu eſt propre à la recevoir. C'eſt ce qu'on peut remarquer dans la neige, je ne dis pas ſeulement dans cette neige étoilée dont nous avons parlé, mais dans la neige la plus commune. Qu'on conſidère un de ſes flocons à la loupe ou au microſcope, on le verra tout compoſé de petits filets de glace, de petites aiguilles grouppées les unes contre les autres, &, autant qu'on en peut juger à la vûe, ſous l'angle d'environ 60 degrés, ou ſous une infinité d'autres angles, toûjours fort grands, & jamais ou preſque jamais parallèlement à leurs voiſines. Je dis preſque jamais, car outre que la vérification exacte des angles feroit ici aſſez difficile, il n'eſt pas étonnant que des flocons de neige, par leur choc mutuel dans la nue, par leur chûte, par la réſiſtance de l'air qu'ils ont à traverſer, ou par l'impulſion du vent, ſe trouvent un peu comprimés en divers ſens, & que des parties auſſi déliées & auſſi friables que celles qui les compoſent, ſe dérangent un peu entr'elles, & s'écartent plus ou moins de la poſition qu'elles avoient auparavant, ou qu'elles auroient eue ſans ces obſtacles. Voilà un exemple ſenſible de ce que peut la tendance dont il s'agit, quand elle s'exerce librement ſur de petites parcelles d'eau. Le volume qui en réſulte eſt

tel, que 10 ou 12 pouces cubiques de neige ne donneront pas quelquefois un pouce cubique d'eau, tandis que l'augmentation de volume dans une maſſe liquide d'eau qui ſe gèle, ne ſurpaſſe guère la dixième partie de ſon volume dans ſon état ordinaire de liquidité, comme nous le verrons en ſon lieu.

Les deux premières cauſes que nous avons aſſignées à l'augmentation de volume de l'eau qui ſe glace, ſont très-réelles ; mais comparées à celle-ci & au phénomène, elles me paroiſſent foibles, reſtraintes à certains cas, & ſouvent inſuffiſantes.

L'une, toute fondée ſur la dilatation de l'air qui reſte dans l'eau pendant la congélation, & l'autre ſur le trouble & le dérangement qu'y cauſe l'air qui en ſort, devroient également ceſſer d'agir, ou n'agir que bien foiblement, lorſque l'eau a été purgée d'air, ſoit par des ébullitions réitérées, ſoit par le moyen de la machine pneumatique ; mais c'eſt ce qu'on ne voit point arriver. La glace qui en réſulte ſe trouve toûjours avoir acquis à peu de choſe près la même augmentation de volume que celle de l'eau ordinaire : preuve qu'il y reſtoit donc encore une cauſe d'expanſion indépendante des deux autres, & qui leur eſt vrai-ſemblablement très-ſupérieure.

C'eſt une expérience que j'ai faite plu-

ſieurs fois avec beaucoup de ſoin, & qui a été tentée de même par d'autres perſonnes *(a)* très-capables d'y réuſſir, ſi la choſe eût été poſſible : jamais on n'a pû parvenir à produire de la glace qui tombât au fond de l'eau. Il faudroit pourtant que cela arrivât, ſi l'air dilaté qui reſte dans l'eau, & le dérangement des parties cauſé par celui qui en eſt ſorti, étoient la ſeule cauſe de l'augmentation de l'eau glacée, ou la plus forte. Car quand même l'extraction de l'air dans la machine pneumatique ne ſeroit pas parfaite, comme elle ne le ſauroit être en effet, la condenſation ſurvenue aux parties propres de l'eau pendant ſon refroidiſſement, & qui ſeroit très-conſidérable, devroit l'emporter ſur l'effet de la petite quantité d'air qui y reſte. Je ſais que M. Homberg fit en 1693 *(b)* une expérience d'où il conclut avoir eu de la glace plus peſante & de moindre volume que l'eau dont elle avoit été formée : mais ce fut ſur la ſeule inſpection du morceau de glace que M. Homberg en jugea, & non ſur l'enfoncement de cette glace dans l'eau, qui eſt, ſelon moi, la ſeule preuve déciſive & ſans replique, de la légèreté ou de la peſanteur de la glace par rapport à l'eau. Le volume apparent eſt ſujet à mille exceptions, &

(a) Par M. Boyle, *Tranſ. Phil. nº 62.*
(b) Mém. de l'Acad. *To. X, p. 255.*

ſur-tout à celle de la diſſipation inſenſible des parties extérieures du morceau de glace, qui, comme nous le verrons en ſon lieu, peut être fort grande.

Dailleurs, ſi l'on ne fait attention qu'à l'effort de l'air renfermé en bulles dans le liquide, & à la force qu'il y doit avoir, pour faire crever les vaiſſeaux que l'on voit rompre par la glace, l'effet paroît être plus grand que ne le comporte ſa cauſe uniquement attribuée à l'air. Et à l'égard du dérangement qui ſurvient aux parties de l'eau par la ſortie de l'air intérieur d'entre ſes interſtices, au moment de la congélation, l'effort qui en réſulte devant être encore proportionnel à celui que fait ce même air pour en ſortir & pour les déranger, il eſt difficile de concevoir qu'il en puiſſe naître ce gonflement preſque invincible, ſi quelqu'autre cauſe ne s'y mêle; & cette cauſe eſt, à mon avis, la troiſième. Les exemples ſuivans mettront le lecteur en état d'en juger.

CHAPITRE XI.

De la force de l'eau qui se glace, pour rompre les vaisseaux où elle étoit renfermée, par le concours de toutes les causes qui contribuent à son expansion.

IL est beaucoup plus aisé de se convaincre que cette force est très-grande, que d'en assigner les bornes. Tout le monde a vû crever des vaisseaux épais & d'une matière très-dure, par la congélation du liquide qui y étoit contenu, & nous en avons déjà indiqué les circonstances en décrivant ce qui se passe dans le liquide aux approches de la congélation, & pendant la congélation. Il ne nous reste maintenant qu'à rapporter sur ce sujet quelque chose de plus positif.

Deux gros flacons de porcelaine remplis d'eau, qui étoient sur une cheminée où l'on faisoit du feu pendant le jour, & à l'ouverture desquels j'avois mis des oignons d'hyacinthe, se trouvèrent rompus par la glace le lendemain d'une nuit d'hiver très-froide, & les morceaux de porcelaine qui en étoient tombés, avoient au moins un demi-pouce d'épaisseur.

On lit dans l'histoire de l'Académie des

Sciences, année 1670, que M. Buot répéta ſur ce ſujet une expérience déjà faite par M. Huguens en 1667. Un canon de fer épais d'un doigt, rempli d'eau, & bien fermé, ayant été expoſé à une forte gelée, ſe trouva caſſé en deux endroits au bout de douze heures. Ainſi l'eau qui ſe gèle a autant de force en pareil cas, que la poudre à canon qui s'enflamme, & apparemment beaucoup plus que l'air le plus comprimé dans les arquebuſes à vent.

Mais nous n'avons rien là-deſſus de ſi ſuivi, ni de mieux circonſtancié, que ce qui fut fait dans l'Académie de Florence *(a)*. Entre pluſieurs vaiſſeaux de verre & de différens métaux, la plûpart ſphériques ou ſphéroïdes, & fort épais, ſur leſquels on fit cette expérience, & qui crevèrent tous, il y en eut un de cuivre, ſur lequel M. Muſſchenbroek a calculé l'effort néceſſaire pour le faire rompre, effort qu'il a trouvé capable de ſoûlever un poids de 27720 livres *(b)*.

Les plus petites parcelles d'eau converties en glace parmi les fibres des bois les plus durs, ſuffiſent quelquefois pour en rompre tout le tiſſu. J'ai eu long-temps ſous les yeux de triſtes preuves de la certitude de ce phénomène en Languedoc &

(a) Saggi di naturali eſperienze, &c.
(b) Addit. ad Tentam. Exp. Acad. del Cimento, p. 135.

en Provence, aux endroits où il y avoit des oliviers : car, comme on le pensa alors dans l'Académie des Sciences *, le rigoureux hiver de 1709 ne fit mourir ces arbres, & quelques autres, tels que les lauriers, les cyprès, les figuiers, les chênes-verds, que parce qu'une forte gelée les surprit après un dégel ou une fonte de neiges, à l'occasion de quoi leurs racines s'étoient imbibées de beaucoup d'eau. Cette eau venant à se glacer dans les petits tuyaux où elle s'étoit glissée, se dilata, écarta les fibres & toutes les parties organiques de l'arbre, qui lui faisoient obstacle, y causa une violente distension, & les rompit. Ce furent même les arbres *les plus vieux & les plus forts qui moururent en plus grande quantité,* parce que leurs fibres se trouvèrent moins flexibles.

Les pierres encore tendres qui ont été mouillées un peu avant la gelée, dépérissent & s'éclatent par feuillets. Les marbres mêmes, lorsqu'ils ont été pétardés, & que l'effort subit de la poudre qui en étonne toute la masse, y a produit mille petites fêlures insensibles où l'eau s'insinue & se gèle, sont sujets à tomber dans le même cas : ce que les Sculpteurs & les Architectes ne doivent pas ignorer.

(b) Hist. de l'Acad. 1710, *p.* 59.

CHAPITRE XII.

Que la tendance à s'aſſembler ſous un angle de 60 degrés, & l'effort d'expanſion qui en réſulte dans les particules d'eau qui ſe glacent, ont lieu indépendamment du froid & de la congélation, en des circonſtances ſemblables à celles de la congélation.

CE que nous venons de voir de l'effort que fait l'eau pour ſe dilater pendant la congélation, & pour rompre les vaiſſeaux qui la contiennent & qui s'oppoſent à ſa dilatation, s'eſt borné juſqu'ici à la congélation même. Mais la congélation ne feroit-elle point ſimplement une cauſe occaſionnelle de cet effet ? Cet effet en eſt-il inſéparable ? En un mot, les parties intégrantes de l'eau ou ſes molécules n'auroient-elles point par leur ſtructure, par la matière éthérée élaſtique qui les pénètre ou qui les anime, & indépendamment de la congélation & du froid, un principe d'expanſion & de reſſort, qui ne demande pour ſe montrer, que des circonſtances équivalentes à celles de la congélation ? C'eſt aſſurément ce qui mérite d'être examiné, & qui doit achever de mettre dans ſon jour la théorie

que nous avons proposée sur ce sujet.

Un liquide se glace lorsque la matière subtile, éthérée ou élémentaire du feu, qui constituoit sa liquidité, s'affoiblit de quantité & de ressort entre les interstices des parties qui le composent, ou qu'elle s'en échappe pour passer dans le milieu environnant, ainsi que nous l'avons expliqué dans la première partie de cette dissertation. Mais ces circonstances ne seront-elles pas les mêmes ou équivalentes, lorsque le liquide subdivisé en de trop petites parcelles pour faire encore un tout sensiblement liquide, laissera échapper de toutes parts la matière éthérée qui l'entretenoit dans sa liquidité, ou lorsque ces parcelles environnées d'une substance, soit fluide, soit solide, où cette matière se meut plus aisément, s'en trouveront dépourvûes! Et si ce liquide ainsi subdivisé & imbibé dans cette substance, vient à y exercer une force de ressort, à se dilater, ou à la faire dilater, quoiqu'actuellement privée par elle-même de cette force, ne pourra-t-on point dire que les parcelles du liquide en étoient douées, quelle que soit la cause qui la leur communique! Or c'est-là précisément ce qui arive à l'eau, dans certaines substances qu'elle pénètre, ou dont elle est pénétrée : elle y exerce cette même force. Donc les parties de l'eau ont en elles-mêmes une force d'expansion & de

reſſort indépendamment de la congélation.

Voilà le raiſonnement; conſultons l'expérience.

La terre proprement dite, & qu'il faut bien diſtinguer du ſable, quelque fin qu'il puiſſe être, eſt du nombre de ces ſubſtances que l'eau pénètre en ſe ſubdiviſant, pour ainſi dire, juſque dans ſes derniers élémens. Tout corpuſcule de pouſſière, de terre, ou de glaiſe, qui n'eſt qu'une terre graſſe, formera toûjours un tout ſpongieux perméable à l'eau, tandis que chaque grain de ſable n'eſt qu'une eſpèce de cryſtal où l'eau ne ſauroit s'imbiber. C'eſt ce que M. de Reaumur a parfaitement prouvé dans le Mémoire qu'il donna en 1730 à l'Académie des Sciences, *ſur la nature de la terre en général,* & qu'il a prouvé par une infinité d'expériences & de faits inconteſtables qu'on trouvera dans cet excellent Mémoire. Je me contenterai d'y en ajoûter un que j'ai ſouvent obſervé, & qui eſt ſous les yeux de tout le monde.

On voit ſouvent dans les jardins, ſur les terraſſes, & en bien des maçonneries horizontales expoſées aux injures de l'air, des marches d'eſcalier, & de grands quartiers de pierre qui ſe trouvent écartés les uns des autres d'un intervalle de pluſieurs pouces rempli de terre. Comment un pareil écartement a-t-il pû ſe faire, malgré le poids &

le frottement énormes qu'il y avoit à vaincre ? Il ne faut qu'y réfléchir un moment, & savoir la propriété caractéristique de la terre, pour le concevoir. Un défaut de continuité, un intervalle ou une fente, d'abord imperceptible, entre les deux quartiers de pierre, y admet un peu de poussière terreuse ; cette poussière s'abreuve d'eau par les pluies ou les rosées, se gonfle, les écarte d'autant, & l'intervalle augmente. La sécheresse survient, la terre se condense, laisse un vuide entre deux, de nouvelle poussière s'y loge encore, & cette succession alternative de nouvelle terre, d'imbibition & de sécheresse, parvient enfin à écarter de très-grandes pierres, jusqu'à les déplacer entièrement de leur lit, malgré le mortier du dessous qui les y tenoit enchâssées.

La terre toute seule, & par la force du coin qu'elle ne peut exercer en cette occasion que par son poids, auroit-elle produit un tel effet ? L'eau toute seule, qui est dans le même cas, en eût-elle été capable ? Seroit-ce l'air qui s'est dégagé de l'eau ? Mais l'air, tout élastique qu'il est, n'a rien de pareil à cette force, si une chaleur excessive, ou une compression étrangère, & provenant elle-même d'une force active, ne la lui communique ; & l'on ne voit ici aucun de ces principes de force active, ni de dilatation prodigieuse dans l'air ni dans l'eau. Quelle est

donc la nouvelle force qui naît du mélange de cette eau avec un peu de terre ? Nous venons de l'indiquer.

M. de la Hire rapporte, à l'occaſion d'une ſemblable force, un fait d'ailleurs aſſez connu *, mais qui mérite ici toute notre attention. Il y a des carrières, & c'eſt ordinairement de celles qui tiennent de la nature du caillou, & qu'on appelle *molières*, parce qu'on en tire les meules de moulin; il y a, dis-je, des carrières où pour fendre de très-groſſes pierres, & pour les détacher du roc, on ne fait autre choſe que creuſer tout autour, & fort proche les uns des autres, de petits trous d'environ deux pouces de profondeur, ſur trois ou quatre lignes de groſſeur ou de diamètre. On y fait entrer de force autant de chevilles de bois de ſaule bien ſéché au four; on jette enſuite de l'eau par-deſſus, les chevilles s'en imbibent, ſe gonflent, & tout le bloc de pierre ſe fend, ou, ſi c'eſt une meule de moulin & encore attachée au rocher, elle s'en ſépare.

Qu'on calcule maintenant la force équivalente qu'il faudroit faire agir pour ſoûlever de tels poids, & en même temps pour vaincre une pareille ténacité de parties. Ce ſont cependant quelques gouttes d'eau introduites dans la ſubſtance poreuſe du ſaule qui font l'office de cette force, & qui opèrent la

* Mém. de l'Acad. *T. IX, p. 495.*

merveille. Mais par quelle force cette eau s'y eſt-elle introduite ! & par quelle méchanique y exerce-t-elle un effort ſi prodigieux ! Je n'y vois que l'action tranquille & , pour ainſi dire, ſpontanée de ſon poids. On auroit beau alléguer encore la raiſon du coin : le coin n'agit pas tout ſeul, ou il n'agit que par ſon poids, ſi une impulſion étrangère ne vient à ſon ſecours. Et où eſt ici cette impulſion ! où eſt ce poids équivalent à l'égard de l'eau qui ſe trouve engagée dans les pores du bois ! Il faut donc reconnoître dans les parties de l'eau une force d'expanſion qui leur eſt propre, & qui ne conſiſte vrai-ſemblablement qu'en cette tendance à s'incliner les unes vers les autres ſous un angle déterminé qui s'y manifeſte dans la congélation.

Donc la terre, le bois & toutes les autres ſubſtances où les particules aqueuſes exercent un ſi violent effort, n'en ſont que la cauſe occaſionnelle, en tant que l'eau s'y trouve ſubdiviſée au point de perdre ſa liquidité & de recouvrer ſa tendance angulaire & expanſive dans les parties qui la compoſent. Quel que ſoit le milieu où l'eau ſe trouvera ſous cette forme, l'air, le vuide ou un fluide quelconque, nous y obſerverons les mêmes effets.

Perſonne n'ignore l'effort prodigieux des vapeurs renſermées dans un eſpace aſſez

étroit pour s'oppoſer à leur dilatation; la machine à feu inventée en Angleterre n'a pas un autre principe. Mais qu'eſt-ce qu'un amas de vapeurs, ſi ce n'eſt un fluide qui réſulte dans cette occaſion des parties diſjointes d'un liquide ! Les vapeurs ne ſont donc que des particules d'eau très-amincies, & qui, étant arrivées à ce degré de ſubdiviſion où la matière ſubtile qui les pénétroit, paſſe en tout ou en partie dans l'eſpace ambiant, tel que l'air, ou le vuide quelconque, ſe réuniſſent en convergence ſous l'angle déterminé qu'elles affectent, ſe dilatent, arcboutent les unes contre les autres en manière de chevrons, & rempliſſent ainſi, ou tendent à remplir, un eſpace indéfiniment plus grand & treize à quatorze mille fois plus grand que celui qu'elles occupoient étant réunies ſous la forme liquide; c'eſt un amas d'autant de reſſorts, ou ſeuls, ou concourans au même effet avec ceux de l'air: d'où il ſuit que l'eau, qui dans ſon état de liquidité eſt ſenſiblement incompreſſible, & conſéquemment non élaſtique, devient par ce changement & par cette ſubdiviſion de parties, & compreſſible, & élaſtique *.

J'avoue que tous ces faits, & beaucoup d'autres que je ſupprime, ne prouvent à la

* Voy. les Exp. de M. Clayton, *Phil. tranſ. 1739, num. 454,* pour montrer *que l'eau agitée par le feu eſt infiniment plus élaſtique que l'air.*

rigueur que la grande force expanſive des parties intégrantes de l'eau, ou de ſes molé-cules réduites à un certain degré de petiteſſe, & nullement leur tendance préciſe à s'aſſembler ſous l'angle de 60 degrés. Mais l'induction en eſt ſi naturelle, d'après ce que nous avons vû qui leur arrive dans la congélation, & ſur-tout dans la formation des étoiles hexagonales de la neige, qui ne paroiſſent être en effet qu'un aſſemblage de filets de vapeur congelés & aſſemblés ſous cet angle, que je ne penſe pas qu'on puiſſe s'y refuſer, juſqu'à ce que de nouveaux phénomènes la détruiſent.

Il ſuit enfin de tout ce que nous venons de dire, & comme nous l'avons déjà obſervé, qu'au lieu que l'air intimement mêlé dans les autres ſubſtances, y perd ſenſiblement le reſſort dont il étoit doué en maſſe ou dans ſon état de fluidité, l'eau au contraire y recouvre le ſien, par cela même qu'elle y perd ſon état de liquidité. Or que l'air perde ſenſiblement ſon reſſort, ou, ce qui revient au même, ſa compreſſibilité dans les ſubſtances où il ſe mêle intimement, & telles que l'eau, par exemple, où l'on ſait qu'il eſt en très-grande quantité, cela n'eſt pas douteux, puiſque le tout, ou l'eau dans ſon état de liquidité, eſt ſenſiblement incompreſſible. Des effets cependant ſi contraires en apparence, peuvent fort bien n'avoir qu'une ſeule

& même cauſe qui agit différemment ſur des parties d'une configuration & d'une ſtructure différentes. Mais prenons garde auſſi que les parties de l'air & celles de l'eau, dans des eſpaces libres, & lorſqu'elles ſont les unes & les autres dans un état de fluidité proprement dite, y exercent ſemblablement leur reſſort. Car, comme nous en avons averti dans nos définitions, l'eau réduite en vapeurs ceſſe d'être un liquide, & ne forme plus qu'un fluide.



SECTION II.

Des Phénomènes de la congélation, relativement à l'état & aux circonstances où se trouve l'eau qui doit se geler. Questions particulières.

CHAPITRE PREMIER.

Si l'eau qu'on a fait bouillir, a une disposition plus prochaine à se glacer.

C'EST une opinion communément reçue, & très-ancienne, que l'eau qui a bouilli se gèle plus promptement, &, en général, se refroidit davantage à un même degré de froid, que de pareille eau qui n'a point été altérée par l'ébullition. Témoin la fameuse eau cuite ou bouillie de Néron, *Neronis decocta*, qui acquéroit par-là, selon Pline *, la propriété de devenir plus froide qu'elle n'auroit fait auparavant, par le moyen de la neige dont on entouroit le vase où on la versoit, & cela, ajoûte-t il, sans participer des qualités mal-faisantes de la neige. Je crois même que le préjugé a été poussé jusqu'à

* Hist. Nat. *l. 31, c. 3, num. 23.*

dire que de l'eau qui vient de bouillir & qui n'eſt pas encore refroidie, ſe glacera plûtôt que de l'eau froide ordinaire qu'on expoſeroit à la même gelée.

Quelque abſurde que paroiſſe cette dernière propoſition, je n'ai pas voulu me diſpenſer d'en tenter l'expérience. Mais le ſuccès a été tel qu'on devoit l'attendre; l'eau qui venoit de bouillir n'étoit pas encore tiède que l'autre étoit déjà glacée.

Arrêtons-nous donc à l'eau bouillie qu'on a laiſſé refroidir au même degré que l'eau *crue* qu'on expoſe en même temps avec elle. Il n'eſt pas ſi aiſé de prévoir ce qui en doit arriver.

J'ai mis deux quantités égales d'eau de rivière, dont l'une avoit bouilli, dans deux vaſes ſemblables de même matière & de même grandeur, après avoir vérifié, en y plongeant le thermomètre, & une ou deux heures après l'ébullition de la première, qu'elles étoient au même degré de froideur, ſavoir, à 5 ou 6 degrés de celui de la congélation, & je les ai expoſées à la gelée ſur la même fenêtre. J'ai répété pluſieurs fois cette expérience & à différentes repriſes, & j'ai trouvé que la congélation de l'une & de l'autre arrivoit à peu près dans le même temps, c'eſt-à-dire, que ce moment étoit ordinairement le même pour les deux, & que quelquefois il y avoit de la différence

d'une ou deux minutes, tantôt à l'égard de l'eau bouillie qui se geloit la première, tantôt à l'égard de l'eau crue dont la congélation étoit plus prompte ; ce qui ne doit pas surprendre dans ces sortes d'expériences où mille petites circonstances imperceptibles doivent amener de pareilles variétés dans les résultats. D'où je conclus, comme d'habiles Physiciens * l'ont déjà fait avant moi, que la différence, s'il y en a en vertu de l'ébullition, est insensible.

Il en est de même de la neige & de la glace fondues lorsqu'on les fait geler de nouveau & avec les mêmes précautions, en comparant les temps de leurs congélations à celui de la congélation d'une eau qui n'avoit pas gelé de tout l'hiver.

On voit par-là combien il faut se défier des vrai-semblances sur ces matières ; car, toutes choses d'ailleurs égales, l'eau qui a bouilli paroîtroit en effet devoir se geler la première, & beaucoup plûtôt, conformément à l'opinion commune. En voici les raisons.

Quoique tout ce qui s'élève en forme de bulles d'air de l'eau actuellement bouillante, ne soit pas en effet de l'air qui se dégage de cette eau, & que ce puisse être en partie, ou de la vapeur très-raréfiée, ou une espèce de vuide à cet égard, ou seu-

* Mariotte, *Traité du mouvement des eaux, in 12 ; p. 11.* Perrault, *Expériences sur la Congélation, num. 1.*

lement de la matière ſubtile ou ignée, on ne peut douter cependant que l'ébullition n'en chaſſe une grande quantité d'air : ce qui eſt prouvé par pluſieurs expériences, & ſur-tout par celle de la glace même qui ſe forme de cette eau, & qui eſt toûjours, du moins en apparence & à cet égard, plus compacte, moins poreuſe & moins parſemée de groſſes bulles viſibles, que celle qui n'a pas bouilli, comme il a été remarqué dans la Section précédente. Or ce grand mouvement dans l'eau qui ſe gèle, devant retarder ſa congélation, il ſemble que celle qui a bouilli, & où, pendant la congélation, il monte moins de ces groſſes bulles d'air qui la diviſent, & qui l'agitent vers ſa ſurface à meſure qu'elles s'en échappent, devroit ſe geler à proportion plûtôt que celle qui n'a pas bouilli & qui eſt par-là plus expoſée à cette agitation.

On pourroit croire que le temps qu'on donne à l'eau bouillante pour ſe refroidir au point de celle qu'on lui veut comparer, laiſſe à l'air celui de s'inſinuer de nouveau dans ſes interſtices ou autour de ſes parties, de s'y mêler intimement, & en quelque ſorte de s'y diſſoudre, & de la remettre par-là dans le même état que celle qui n'a pas bouilli ; mais quoiqu'il ſoit vrai que l'eau purgée d'air par l'ébullition, ou par la machine pneumatique, s'en imprègne de nou-

veau dès qu'elle y eſt expoſée, il paroît cependant par toutes les expériences qui en ſont venues à ma connoiſſance, & principalement par celles de M. Mariotte *(a)*, que la rentrée entière de l'air que l'eau avoit perdu ne ſe fait qu'en 7 à 8 jours. D'où il ſuit qu'elle en devoit être encore fort dépourvûe dans le cas de notre expérience & de la queſtion.

Mais il y a plus, les parties intégrantes de l'eau ſont-elles ſi égales, ſi uniformes, qu'il n'y en ait point de plus volatiles les unes que les autres, & qui s'exaltent par l'ébullition ? Le Chancelier Bacon, qui avoit fait bien des réflexions ſur ce ſujet, s'étoit déterminé pour l'affirmative, & un grand médecin Chymiſte de nos jours, qui a traité particulièrement de l'eau *(b)*, eſt de ce ſentiment, *que l'eau paroît être compoſée de parties plus ſubtiles, & d'autres un peu plus peſantes;* que *les premières, comme plus propres au mouvement, montent le plus aiſément, & s'élèvent en haut, à l'approche de la chaleur.... qu'en faiſant bouillir l'eau, les parties les plus ſubtiles s'en exaltent, & que les plus groſſières & les moins utiles* à la ſanté *demeurent.* Cela poſé, qui ne croiroit que l'eau, dont on a ainſi

(a) Diſcours de la nature de l'air.

(b) Frid. Hoffman. *Diſſ. phyſ. & med. ſur la vertu de l'eau commune, § VII.* Dans le *Recueil des pièces ſur les vertus médicinales de l'eau commune.*

enlevé les parties les plus volatiles, n'occasionnât plûtôt, & à un moindre froid, la diminution de mouvement de la matière éthérée qui entretenoit sa liquidité, & ne dût se glacer beaucoup plus promptement que celle qui seroit dans son état naturel!

Il résulte du moins de toutes ces observations, ou que les parties intégrantes de l'eau sont plus uniformes qu'on ne se l'imagineroit d'après ces expériences, ou que les parties les plus subtiles de l'eau ne se séparent pas si aisément des plus grossières, & qu'enfin les unes & les autres sont bien difficiles à décomposer, ou même à se déranger de l'ordre qu'elles gardent entr'elles, & qu'elles reprennent si-tôt qu'elle retourne à son état naturel. Car il y a certainement quelque arrangement propre des parties de l'eau entr'elles, & qu'elles affectent, soit pendant sa liquidité, soit au moment de sa congélation, comme nous l'avons vû dans la Section précédente.

On pourroit faire une plus forte épreuve de cette espèce d'immutabilité de l'eau par le moyen de la machine ou du *Digesteur* de Papin ; puisqu'on assure * que la chaleur de ce liquide y est portée au point de fondre le plomb & l'étain qu'on y a suspendus avec du fil de fer ou de laiton, la chaleur ordinaire de l'eau bouillante étant, comme on sait, fort

* Musschenbroek, *Essai de Physique*, p. 434.

inférieure,

inférieure à celle qu'exige la fonte de ces métaux *, & paſſant même communément pour invariable, du moins dans le même climat, & au même degré de compreſſion de l'atmoſphère, indiqué par le baromètre. Mais outre qu'il me reſte quelque ſcrupule ſur ce plomb & cet étain fondus par le contact de l'eau, plûtôt que par le fer & les parois intérieures de la machine qui en ſont ſi proches, je ne ſais s'il convient d'appeller chaleur de l'eau celle d'un tout ainſi pénétré des parties du feu, comme l'eſt le bois lorſqu'il eſt réduit en charbons ardens. Toutes les ſubſtances, dont on auroit rempli un ſemblable eſpace, me paroîtroient en ce cas également ſuſceptibles de chaleur. Quoi qu'il en ſoit, n'ayant pû juſqu'ici m'en éclaircir par moi-même, je ne puis dire ce qui en arriveroit à de l'eau ainſi pouſſée de chaleur lorſqu'on la feroit geler.

Quant au ſimple refroidiſſement de l'eau qui a bouilli, & qu'on a cru plus parfait que celui qu'elle auroit acquis ſans cela; en ayant fait l'expérience, tant ſur de pareille eau qu'on avoit tenue quelques heures

* La chaleur du plomb fondu, par exemple, ſelon une Table ou *Echelle des degrés de chaleur,* qu'on trouve dans les Tranſactions philoſophiques, n.° 270, eſt, toutes réductions faites au thermomètre de M. de Reaumur, d'environ 232 degrés au deſſus du terme de la congélation, tandis que celle de l'eau bouillante ne va tout au plus qu'à 82 degrés.

au fond d'un puits, que sur celle dont on avoit entouré le vaisseau de neige ou de glace, l'une & l'autre comparée à de l'eau qui n'avoit pas bouilli, & dans les mêmes circonstances, je n'y ai encore trouvé aucune différence sensible.

CHAPITRE II.

Si les grandes Rivières commencent à geler par leur superficie, ou par le fond de leur lit.

COMME cette question n'en fut jamais une pour moi, & que lorsque je mis la main à cet ouvrage, dans les éditions précédentes, je ne connoissois point d'observation ni d'expérience qui pût me faire naître des doutes sur ce sujet, je crus avoir suffisamment prévenu ceux du lecteur, en exposant, ainsi que j'ai fait dans le premier Chapitre de la Section précédente, la manière dont la glace commence à se former. Cependant l'opinion vulgaire, que la glace des rivières commence par leur fond, ayant trouvé depuis des défenseurs illustres, je ne saurois me dispenser d'en examiner les prétendus fondemens : mais je n'aurai guère besoin pour cela que de transcrire ici ce que j'en ai dit ailleurs *, en donnant le

* Hist. de l'Acad 1743.

précis d'un Mémoire que M. l'Abbé Nollet lut il y a quelques années à l'Académie des Sciences sur ce même sujet.

Quelque système qu'on suive sur la formation de la glace, il est évident que l'eau qui se durcit & se gèle ne reçoit cette nouvelle modification, que par le contact ou par l'approche de quelqu'autre corps dur ou fluide, dont le degré de froideur surpasse celui qu'elle avoit avant que de se geler, & va tout au moins jusqu'au froid de la congélation. Ce ne peut donc être que par sa superficie, par la partie la plus exposée à l'action de ce corps ou de ce fluide, de l'air, par exemple, que l'eau commence à se glacer; & c'est aussi ce que l'expérience confirme, & dont on convient en général.

Nous avons observé ci-dessus, que si dans un temps de gelée on présente à l'air froid un gobelet plein d'eau, on voit bien-tôt paroître à la superficie de cette eau de petits filets de glace, qui venant à se joindre bout à bout, ou latéralement, ou sous une certaine inclinaison, y forment d'abord une espèce de réseau, & enfin une pellicule sensible de glace, plus ou moins épaisse, selon que le froid est plus grand; & que, s'il étoit possible que ces premiers filets ou ces glaçons naissans se formassent au dessous de la surface de l'eau, ils y monteroient

auſſi-tôt par leur légèreté ; puiſque la peſanteur de la glace eſt, comme on fait, & comme nous le dirons plus particulièrement, beaucoup moindre que celle de l'eau dans ſon état de liquidité : ce que l'expérience confirme encore, les premiers glaçons étant toûjours aperçus à la ſuperficie.

Par quelle circonſtance extraordinaire ces gros glaçons qu'on voit flotter dans les grandes rivières ſe ſeroient-ils donc formés au fond de l'eau, ou ſur le terrein qui eſt au deſſous, avant que de monter à la ſuperficie ? La froideur de ce terrein n'étoit-elle pas avant la gelée, moindre que celle de la congélation ? Le froid qui a dû ſe faire ſentir dans l'atmoſphère n'a-t-il pas dû auſſi frapper la ſurface extérieure du liquide avant que de pénétrer juſqu'à celle du fond, & juſqu'au terrein qui la touche ?

A une théorie ſi ſimple & ſi lumineuſe on oppoſe l'expérience, ou, pour parler plus exactement, le témoignage d'un nombre de gens fort peu en état de diſcerner & de conſtater l'expérience, ſi ſouvent douteuſe ou équivoque. Les meuniers, les pêcheurs, les bateliers, les matelots des grandes rivières, & le peuple qui en fréquente les bords, dépoſent unanimement en faveur du préjugé, que la glace ſe forme au fond des rivières, & ſur le terrein de leur lit plûtôt qu'à la ſurface de l'eau ; ils diſent en avoir

vû monter les glaçons, ou les en avoir arrachés avec leurs crocs, s'ils n'aiment mieux attribuer cet effet au Soleil qui les détache, disent-ils, du fond où ils s'étoient formés pendant la nuit, & qui les attire pendant le jour vers la surface. Il faut convenir cependant que quelques-uns en donnent une raison plus plausible, savoir, qu'on aperçoit souvent sur un des côtés du glaçon flottant des vestiges non équivoques du terrein & du gravier sur lesquels il s'est formé, & sur lesquels en effet il paroît avoir séjourné quelque temps, avant que de rouler avec les eaux.

Mais de semblables glaçons ne viendroient-ils point des bords de la rivière, des isles, des bancs de sable & des bas-fonds qu'elle rencontre dans son cours, & d'où ils auront été détachés & entraînés vers le courant? Ne faudra-t-il pas aussi en attribuer un grand nombre aux ruisseaux & aux petites rivières qui se jettent dans la grande, & qui par leur peu de largeur & la proximité de leurs bords n'en sauroient guère fournir que de cette espèce? Car on ne peut douter que ce ne soit, du moins en partie, à de semblables causes que sont dûs ces glaçons que les grandes rivières charrient pendant les fortes gelées. Quoi qu'il en soit, l'Académie consultée plus d'une fois sur cette question, s'en est toûjours tenue à la théorie générale, conformément à l'idée & aux

obſervations de ceux de ſes Membres qui avoient le plus travaillé ſur les phénomènes de la glace.

Voici cependant un Phyſicien diſtingué par la ſagacité qu'il fait paroître dans les expériences les plus délicates, qui excepte le cas dont il s'agit de la théorie générale, & qui embraſſe l'opinion vulgaire. M. Hales de la Société Royale de Londres, dans ſon excellent livre de la *Statique des Végétaux,* dit formellement avoir vû en même temps ſur une rivière, & la glace de la ſuperficie, qui avoit un tiers de pouce d'épaiſſeur, & à travers celle-ci une autre glace adhérante au fond, laquelle étant rompue ſe trouva être de près d'un demi-pouce. Cette glace de deſſous ſe joignoit, ajoute-t-il, à celle de deſſus au bord de l'eau, les deux lits de glace s'éloignant de plus en plus l'un de l'autre à meſure que l'eau devenoit plus profonde; & il attribue cet effet au courant de l'eau. « Comme l'on n'a jamais vû*, » dit-il, les étangs, les mares, & toutes » les eaux calmes commencer à ſe glacer » par le fond, il faut néceſſairement que le » courant de l'eau en ſoit la cauſe dans les » rivières; car il eſt ſûr que dans les eaux » calmes, auſſi-bien que dans la terre, la » ſurface eſt bien plus froide que le deſſous, » au lieu que dans les eaux courantes le

* De la traduction de l'Anglois, par M. de Buffon.

dessus & le dessous se mêlant ensemble, « deviennent à peu près aussi froids l'un que « l'autre, & le dessus ayant plus de vîtesse « que le dessous, & pas plus de froid, il ne « se glace que le dernier. »

Il faudroit donc savoir si l'obstacle que le mouvement apporte à la congélation de la surface de l'eau, peut prévaloir sur celui que le moins de froideur doit causer vers le fond : mais on verra bien-tôt que, toutes choses d'ailleurs égales, le repos de l'eau, bien loin d'accélérer sa congélation, la retarde, ou l'empêche même totalement dans de grandes gelées. Et de plus, pourquoi cette glace formée vers le fond à l'occasion de quelque filet d'eau du dessus qui s'y est porté, ne remonte-t-elle pas au dessus dès l'instant de sa formation, par la raison déja alléguée de sa moindre pesanteur ? Mais nous n'examinerons pas davantage les suites d'une théorie qui ne sauroit être admise qu'autant que le fait qu'elle suppose seroit certain. Il s'agit de le constater ce fait, ou de le détruire, ou de démêler ce qu'il y pourroit avoir d'équivoque. Le témoignage de M. Hales méritoit bien une pareille discussion, assez curieuse par elle-même & digne de tous les soins que s'est donné M. l'Abbé Nollet pour la rendre concluante & décisive.

Remarquons d'abord, 1° que les obser-

vations rapportées par M. Hales, ont été faites dans un endroit de la rivière qui sert d'abreuvoir, & où par conséquent elle avoit peu de profondeur. 2° Que la glace qu'il y a vûe n'ayant qu'un tiers de pouce de profondeur, n'a pû lui permettre de marcher dessus pour l'examiner plus avant. 3° Que le témoignage des pêcheurs est si souvent employé dans ce récit, qu'il est à craindre que M. Hales n'y ait mis trop de confiance.

Il convient qu'en général le dessous de la glace qui se forme sur les rivières n'est point uni, comme on le voit ordinairement à la glace des eaux dormantes; qu'il est moins compacte, & comme enduit d'une poussière de petits glaçons plus ou moins grumelés, en cela semblables aux pierres qu'on tire de la carrière, & qui sont couvertes d'une partie tendre & plus rare, comme d'une espèce de duvet; que de plus, on y trouve souvent de la terre & mille saletés, telles qu'il y en peut avoir au fond des rivières. Mais M. l'Abbé Nollet est bien éloigné de croire que ces glaçons se soient formés sur ce fond & au dessous de l'eau, comme on le suppose, parce qu'on les y a vûs adhérans. Nous ne nierons pas cependant que des bateliers n'aient pû quelquefois retirer de gros morceaux de glace avec leurs crocs à quelques pieds de pro-

fondeur auprès des bords des rivières; mais ce n'eſt ſans doute que parce qu'il arrive auſſi quelquefois qu'après une gelée ſuivie d'un commencement de dégel, les rivières viennent à groſſir, & à ſe geler de nouveau, avant que la glace qui s'étoit formée la première fois à leurs bords, ait fondu, ou s'en ſoit détachée. Il n'en a pas fallu davantage à des gens ſans principes & peu exercés à douter, pour leur faire croire qu'une pareille glace s'étoit formée au deſſous de l'eau. Voilà le préjugé établi, & d'autant plus au gré de ceux qui l'ont fait naître, qu'il tient un peu du merveilleux. On ne manque pas enſuite de perſonnes plus éclairées qui l'adoptent, & qui l'autoriſent. Mais on peut hardiment nier le fait tel qu'ils le ſuppoſent, juſqu'à ce qu'il ait été mieux vérifié; car tout au moins faut-il que l'expérience ſoit inconteſtable pour faire preuve contre des principes évidens, ou pour en fonder l'exception.

Cependant M. l'Abbé Nollet n'en demeura pas là, il chercha la cauſe de cette différence que l'on remarque entre les glaçons des rivières & ceux des étangs & des eaux dormantes.

Pendant la gelée de 1743, & lorſque le thermomètre de M. de Reaumur étoit beaucoup plus bas que le terme de la congélation, il fit ouvrir de la glace épaiſſe de

I v

plusieurs pouces sur la rivière de Seine, & en des endroits où l'eau avoit 9 à 10 pieds de profondeur. La pièce de glace enlevée, il vit contre son attente que le duvet attaché à la partie du dessous ressembloit très-souvent à celui qu'il avoit observé plus près du rivage, il y remarqua les mêmes saletés, & il s'aperçut aussi que la surface de l'eau en étoit couverte, quelque soin qu'on prît de les en ôter.

Le duvet de cette poussière de glace, mêlé de petits corps étrangers qui s'y attachent, monteroit-il ainsi du fond vers la superficie, & seroit-ce par cette voie qu'il s'accumuleroit à la partie inférieure des glaçons? Pour s'en éclaircir, M. l'Abbé Nollet fit venir un tonneau dont on ôta les deux fonds, il fit faire dans la glace un trou de même diamètre, & il y plongea perpendiculairement le tonneau jusqu'aux trois quarts de sa longueur. Il forma de cette manière une espèce de puits d'où l'on enleva bientôt & les petits grumeaux de glace, & les saletés qui flottoient sur l'eau renfermée dans ce puits; après quoi il n'y en vit plus, & il demeura convaincu que cette poussière, ces débris, &, pour ainsi dire, ces gravois de glace avec toutes les matières étrangères qui s'y mêlent, obéissent au courant, ne se fixent point aux endroits où la gelée les a fait naître, & ne viennent point du dessous de l'eau.

D'où viennent-ils donc, ou plûtôt quelle est la cause de leur formation ? Il n'est pas mal-aisé de l'imaginer. Une infinité de petits glaçons formés sur toute la superficie de l'eau, & principalement vers ses bords, sont entraînés, choqués, brisés, atténués & arrondis par d'autres glaçons & par le courant même, avant qu'ils aient eu le temps de grossir & de s'unir. Poussés contre la surface inférieure des grandes pièces de glace, ou quelquefois jetés au dessus par les vagues, les uns s'y attachent plûtôt ou plus tard, selon que mille cas fortuits les y déterminent, les autres continuent de rouler avec le courant. Enfin chargés de toutes les particules de matière étrangère qu'ils portent avec eux, ou qu'ils rencontrent sur leur chemin, de terre, de vase, d'écume, de paille, de brins d'herbe, ils forment au dessous, aux côtés, & quelquefois au dessus des gros glaçons, tantôt cette espèce de duvet rare & spongieux qu'on y observe, tantôt cette superficie âpre & grumeleuse qui n'y est pas moins ordinaire, & où l'on croiroit voir l'empreinte d'un terrein sur lequel ils auroient pris naissance : & il ne faut pas douter que parmi ces glaçons il ne s'en trouve plusieurs où cette apparence d'empreinte n'est pas trompeuse, & qui retiennent même des fragmens de la rive dont ils se sont détachés, ainsi que nous l'avons déjà fait

entendre ; mais il ſuffit que pour la formation des uns ni des autres nous n'ayons nullement beſoin de recourir à la prétendue congélation du fond de l'eau.

Enfin pour ne laiſſer aucun ſujet de doute ſur la froideur du fond de l'eau, par rapport à celle du deſſus, en un temps de gelée, nous allons en rapporter la preuve de fait que M. l'Abbé Nollet nous fournit encore.

Il a plongé pluſieurs fois & en différentes années des thermomètres au fond de la rivière, ſoit au commencement de la gelée, ſoit lorſque la glace de la ſuperficie avoit 2, 3, 6, & juſqu'à 8 pouces d'épaiſſeur, & il n'a jamais trouvé l'eau de ce fond au degré de froid néceſſaire pour la convertir en glace. Il eſt vrai qu'elle en a ſouvent approché, mais ce n'a été qu'après pluſieurs jours de forte gelée, & nullement lorſque la glace de la ſuperficie n'avoit que trois quarts de pouce d'épaiſſeur, &, comme on peut juger, encore moins lorſqu'elle n'étoit que d'un tiers de pouce, qui eſt le cas où M. Hales ſuppoſe qu'il s'en eſt formé une de demi-pouce ſur le fond même.

Après tant de raiſons & d'expériences qui s'éclairent mutuellement, nous n'héſiterons point à conclurre que la congélation des rivières ne ſort pas de la loi générale, qu'elle commence à leurs bords & à leur ſuperficie, & non pas à leur fond.

Je remarquerai en finiſſant ſur la congélation des rivières, que la rivière de Seine qu'on voit aſſez fréquemment geler d'un bord à l'autre dans des hivers moins rudes que celui de 1709, ne gela pourtant pas entièrement cette année-là; le milieu de ſon courant demeura toûjours libre, du moins à Paris *. La raiſon la plus vrai-ſemblable qu'on en donna dans l'Académie des Sciences, fut que les rivières, en général, commencent toûjours à ſe geler par leurs bords, que les grandes, les fleuves, ne ſe gèlent guère juſqu'au milieu de leur courant que par les glaçons qui y ſont amenés de leurs bords, ou qui y tombent des petites rivières, & qu'aucune de ces circonſtances ne pût avoir lieu en 1709, parce que le froid y fut ſi ſubit & ſi âpre dès ſon premier commencement, que les petites rivières qui tombent dans la Seine au deſſus de Paris ſe trouvèrent priſes tout-à-coup & entièrement, de ſorte que leurs glaçons ne pûrent y être portés, du moins en aſſez grande quantité, & que les bords de la Seine n'en fournirent pas non plus, par la grandeur & par l'épaiſſeur des glaçons qui s'y étoient d'abord formés & fortement attachés. La violence même du froid fut cauſe que la Seine ne gela point entièrement.

* Hiſt. Acad. 1709, *p. 9.*

CHAPITRE III.

De l'eau qui ne se gèle pas étant exposée à la gelée, quoiqu'elle y ait acquis plusieurs degrés de froideur au delà de celui de la congélation ordinaire.

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES.

M. Fahrenheit, célèbre par ses thermomètres, & Membre de la Société Royale de Londres, est le premier, que je sache, qui se soit aperçu de ce phénomène, en voulant faire une autre expérience. Il en donna avis à la Société Royale, & son Mémoire sur ce sujet fut inséré dans les Transactions philosophiques, année 1724, n.° 382.

Il avoit pris une boule creuse de verre d'environ un pouce de diamètre, & qui tenoit à une queue ou à un petit tube de deux ou trois pouces de longueur, avec lequel elle communiquoit, & qui se terminoit en pointe. Il avoit fait chauffer cette boule à diverses reprises, & l'avoit remplie environ à moitié d'eau de pluie, à la manière dont on remplit les éolipyles, en trempant alternativement le tube dans l'eau, & en faisant réchauffer la boule; après quoi la remettant sur le feu jusqu'à l'ébullition de l'eau, il en avoit chassé l'air contenu dans

l'autre moitié, opération connue dans la Physique expérimentale, & il avoit soudé sur le champ la pointe du tube à la lampe des Emailleurs.

Il exposa ainsi cette boule & cette eau à la rigueur du froid le 2 Mars 1721, la température de l'air étant alors au 15me degré de son thermomètre, ce qui répond à peu près au milieu du 11me degré de celui de M. de Reaumur, au dessous du point de la congélation; comme je le déduis de la construction que M. Fahrenheit donne là même de son thermomètre, & d'une Table de comparaison de divers thermomètres *, dressée avec soin par feu M. Martine, de la Société Royale de Londres & de celle d'Edimbourg.

Une heure après, M. Fahrenheit ayant regardé à cette boule, fut très-surpris d'y trouver l'eau aussi liquide qu'auparavant; elle l'étoit encore le lendemain matin, quoique le froid fût encore au même degré. Il crut alors devoir attribuer cet effet à l'ab-

* C'est la plus exacte que je connoisse, je l'ai vérifiée avec les thermomètres de M.rs de Reaumur, Amontons, Haukfbée & Fahrenheit même, sur lesquels j'ai vû d'autres Tables qui sont très-fautives. C'est pourquoi je m'en rapporterai à celle-ci dans la suite pour toutes ces réductions. Elle est dans l'*An Essay towards comparing different thermometers* de cet Auteur, imprimé à Londres en 1741, parmi ses autres Essais de Médecine & de Philosophie.

ſence de l'air ; il caſſa la pointe du tube pour ouvrir l'entrée à l'air, & en effet toute la maſſe de l'eau fut ſubitement parſemée de petites lames de glace.

Mais ayant répété l'expérience bien des fois & de bien des manières, il ſe convainquit enfin de l'erreur où il étoit, & il ne douta plus que la ſeule agitation de l'eau ainſi refroidie ne pût en avoir produit la congélation ; comme le haſard l'en fit apercevoir, & comme l'expérience répétée à ce deſſein le lui confirma *, toûjours avec de ſemblables boules de verre à moitié remplies d'eau.

Ces lames de glace formées ſubitement reſtoient quelque temps mêlées d'une eau fluide qui en rempliſſoit les intervalles, & il réſultoit, dit-il, de leur aſſemblage, *comme une cryſtalliſation confuſe de certains ſels.*

N'oublions pas auſſi deux obſervations importantes qu'il fit en même temps.

L'une, que ces petites lames de glace ſurnageoient toûjours dans l'eau où elles étoient plongées.

L'autre, qu'ayant mis la boule d'un de

* *Hoc autem caſu fortuito edocebar, glaciem in aquam ſatis frigida agitatione produci poſſe, ſimulque judicii errorem agnoſcebam, quòd nempè abſentiæ aëris fluiditatem aquæ attribuiſſem.* Ce cas fortuit ou cet accident n'eſt autre choſe qu'un faux pas qu'il fit en tranſportant une de ces boules d'un lieu à un autre, & ſur le champ toute l'eau en fut glacée, ou remplie de lames de glace.

ses thermomètres dans ce mélange de glace & d'eau, la liqueur ou le mercure du thermomètre remonta jusqu'au 32me degré, c'est-à-dire, à la simple congélation ou zéro du thermomètre de M. de Reaumur.

On trouve encore dans les Transactions philosophiques * une lettre de M. Triewald, Directeur des Méchaniques du Roi de Suède, à M. Sloane, écrite de Stokholm le 4 Avril 1730, dont il résulte;

Que le 15 Décembre 1729 étant dans une salle qui lui servoit de laboratoire, il prit de dessus une tablette une de ces longues bouteilles remplies d'eau, & recouvertes d'une vessie pleine d'air, dans lesquelles on fait monter & descendre alternativement de petites figures de verre, pour donner une idée de la pression de l'air sur la surface de l'eau:

Que malgré le grand froid qu'il faisoit, il trouva l'eau de cette bouteille parfaitement liquide;

Mais qu'ayant appuyé la main sur la vessie qui en recouvroit l'orifice, cette eau se convertit en glace dans le moment & dans l'espace d'une seconde.

M. Musschenbroek a fait aussi quelques expériences sur ce sujet avec des carafes remplies d'eau, bien bouchées, & qu'il exposoit pendant la nuit à la gelée. Il retrouvoit le

* Num. 418.

lendemain l'eau toute liquide ; mais dès qu'il débouchoit la carafe, & qu'un nouvel air venoit à frapper la furface de l'eau, il s'y formoit fur le champ une infinité de petites lames de glace *(a)* ; comme nous avons vû que l'avoit remarqué M. Fahrenheit.

Enfin j'apprends par M. Jallabert, Profeffeur de Phyfique expérimentale & de Mathématiques à Genève, que M. Micheli *(b)* lui mandoit il y a quelques années, que *fi l'on met le thermomètre dans un cylindre de verre d'environ 1 pouce de diamètre, & de 7 à 8 pouces de longueur, qu'on a rempli d'eau & couvert d'un carton, & que l'on expofe ce vafe avec le thermomètre à un air parfaitement tranquille, de 11, 12, 13, 14 & même 15 degrés de froid* (du thermomètre de M. Micheli) *cette eau contractera à la longue ce même degré de froid fans geler, & le thermomètre defcendra dans cette eau jufqu'à pareil terme. Pour lors touchez feulement la furface de cette eau avec un fil d'archal que vous aurez frotté de neige ou de glace, & vous verrez fe former plufieurs petits fufeaux de glace, & le thermomètre remonter à vûe jufqu'au 10 $\frac{3}{4}$*, c'eft-à-dire, à peu près jufqu'au terme de la fimple

(a) Atque intra minutum tota aqua lamellis glaciei implebatur. *Additament. ad tentam. exper. Acad.* Del cimento.

(b) cité ci-deffus, p. 62.

congélation, comme il a été remarqué dans les expériences de M. Fahrenheit; car la graduation du thermomètre de M. Micheli commence à la température des caves de l'Observatoire, & ainsi ses 10, 11, 12, 13, 14 & 15 degrés en descendant, répondent, à peu près, aux 0, 1, 2, 3, 4 & 5 du thermomètre de M. de Reaumur, aussi en descendant.

M. Jallabert avoit commencé de répéter cette expérience, & d'une manière qui lui est propre, dans le mois de Novembre dernier; mais la douceur du temps, qui succéda bien-tôt à la gelée du 21 & du 22 de ce mois, l'empêcha de poursuivre. Il en fit assez cependant pour se convaincre que de l'eau ainsi exposée à un air tranquille, se refroidit bien au delà de la congélation sans se geler.

CHAPITRE IV.

Suite d'observations & d'expériences sur le même sujet.

J'AUROIS pû me dispenser de mettre la main à l'œuvre après les Observateurs dont je viens de rapporter les expériences; mais ce phénomène m'a paru trop important pour ne pas tâcher de le connoître par moi-même, & de le considérer par

tous les côtés, & de tous les points de vûe qui m'ont paru les plus propres à en dévoiler la cause.

Le 11 Janvier dernier, je mis entre deux chassis sur une fenêtre du Louvre, qui donne sur la cour, & qui est tournée vers l'est-sud-est, tenant au cabinet où je travaille, auprès d'une encoignure où le Soleil d'hiver ne donne point;

Numéro 1. Un verre ordinaire à boire de figure conoïdale, & à peu près parabolique, avec de l'eau de la rivière de Seine, bien limpide, jusqu'à environ trois quarts de pouce de ses bords, & j'achevai de le remplir, à une ou deux lignes près, en versant par-dessus cette eau de l'huile d'olive que j'avois fait un peu chauffer auparavant, pour la fondre & la rendre bien claire. Ce verre ainsi rempli & sans être couvert, fut mis sur un petit quarré de planche de sapin, qui s'appliquoit bien juste sur la tablette de de la fenêtre.

Je choisis cette figure de vaisseau, plûtôt que la cylindrique, afin que la gelée venant à arriver, la glace pût remonter, en glissant sur les parois intérieures du verre, sans le faire crever. Tous les verres suivans seront à peu près de la même figure, de la même grandeur que le premier, & chacun de la contenance d'un peu plus de 7 onces d'eau.

N.° 2. Un verre avec même quantité

d'eau & d'huile à côté du premier, mais dans lequel je plongeai la boule d'un petit thermomètre ſuſpendu au deſſus, de manière que cette boule occupoit à peu près le centre du conoïde d'eau; la partie ſupérieure du tube tenant à une monture où la graduation eſt marquée ſelon la théorie de M. de Reaumur.

N.° 3. Un verre que j'avois de même rempli d'eau ſeulement, juſqu'à environ $\frac{3}{4}$ de pouce des bords, & couvert d'un carreau de vitre, qui ne joignoit pas ſi bien que l'air extérieur ne pût y entrer & l'intérieur en ſortir aſſez librement.

N.° 4. De même.

N.° 5. De même, mais ſans le couvrir.

N.° 6. Avec la même quantité d'eau, & un demi-pouce d'huile de lin par-deſſus: huile qui ne gèle preſque jamais, & que je choiſis ainſi par préférence, & en oppoſition à celle d'olive.

N.° 7. Et enfin un ſeptième avec la même quantité d'eau, l'air au deſſus & couvert d'un carreau de vitre que j'avois bien maſtiqué ſur ſes bords avec de la cire; de manière que l'air intérieur & extérieur ne pouvoient que difficilement communiquer l'un avec l'autre. Pour cela, j'avois étendu une couronne de cire de deux ou trois lignes d'épaiſſeur ſur le carreau que j'avois fait chauffer enſuite juſqu'à la molleſſe de la

cire, & je l'avois appliqué ſur les bords du verre, en le preſſant un peu contre.

Tous ces vaiſſeaux ainſi diſpoſés, & rangés dans cet ordre ſur la tablette de la fenêtre, je ſuſpendis intérieurement à la croiſée de bois du chaſſis extérieur, & à la hauteur des vaiſſeaux, un thermomètre tout ſemblable à celui du n.° 2, & dont la marche eſt ſenſiblement la même *. La liqueur ou le mercure en étoit alors à 5 ou 6 degrés au deſſus de la congélation. Après quoi je fermai le chaſſis intérieur, pour ne l'ouvrir que lorſque l'expérience ou les obſervations le requerroient.

1ere Obſervation. Le temps ayant toûjours été depuis autour de cette température, avec de grands vents, des pluies fréquentes, & de grands baiſſemens du baromètre, juſqu'au 7 Février, le froid arriva rapidement vers les 9 à 10 heures du matin du même jour. A midi le thermomètre ſuſpendu au chaſſis étoit deſcendu à 0 ou à la congélation, & le ſoir vers les neuf heures à 2

* Ces deux thermomètres ſont à mercure; la boule n'en a qu'environ un demi-pouce de diamètre, & le tube n'a pas intérieurement un quart de ligne. Ils peuvent marquer depuis le 18me degré de froid au delà de la congélation ou au deſſous de 0, juſqu'à l'eau bouillante, ou 82 degrés de chaleur au deſſus de 0. La monture en eſt briſée par une charnière à 2 pouces au deſſus de la boule. C'eſt ainſi que le premier de ces thermomètres étoit plongé dans l'eau n.° 2.

degrés au deſſous, le thermomètre du n.° 2 ſuivant à peu près la même marche, comme il fit preſque toûjours dans la ſuite, à un demi-degré plus ou moins près. L'eau du n.° 5 n'étoit pas encore gelée.

2[me] *Obſ.* A 11 heures du ſoir le thermomètre étant encore deſcendu d'un degré c'eſt-à-dire, à 3 au deſſous de 0, l'eau du n.° 5 étoit gelée à ſa ſuperficie & un peu auprès des parois du verre.

3[me] *Obſ.* Le 8 à 7 heures du matin, le thermomètre étant à 4 degrés au deſſous de 0, l'eau du n.° 5 étoit tout-à-fait priſe, & d'une glace tranſparente. Aucun de tous les autres vaiſſeaux, ſi l'on en excepte l'huile d'olive, qui étoit figée depuis pluſieurs jours, ne montra la moindre apparence de glace, & il n'y avoit encore rien de glacé dans tous ces vaiſſeaux à une heure après midi. Mais étant revenu chez moi vers les huit heures & demie du ſoir, j'aperçus pluſieurs lames de glace dans l'eau du n.° 7, qui étoit couvert du carreau maſtiqué, tandis que celle des n.os 3 & 4, où l'air pouvoit aiſément communiquer entre le carreau & les bords du verre, étoit dans une parfaite liquidité *.

* Ces expreſſions, *dans une*, ou *dans ſa parfaite liquidité*, *dans toute ſa liquidité*, & ſemblables, ne doivent pas être priſes ici excluſivement, comme ſi l'eau n'étoit pas ſuſceptible d'une plus grande liquidité ou

4[me] *Obs.* J'aperçus aussi avec la même surprise, que l'eau du n.° 6, qui étoit couverte de l'huile de lin, commençoit à se parsemer de pareilles lames de glace; car c'étoit à ces deux vaisseaux (n.[os] 6 & 7,) que j'avois cru que la congélation devoit arriver le plus tard. Vers les 11 heures du soir ces lames en avoient rendu toute l'eau aussi opaque que l'avoit été auparavant celle du n.° 7, laquelle en achevant de se geler avoit acquis la transparence ordinaire de la glace. Le thermomètre de la croisée étoit alors à $4\frac{1}{2}$ degrés au dessous du point de la congélation, & celui du n.° 2 suivoit toûjours à peu près la même marche.

5[me] *Obs.* Le 9 à 7 heures du matin, le thermomètre de la croisée étoit à environ $4\frac{3}{4}$, celui du n.° 2 à 5, & tout le reste comme ci dessus, excepté que les glaces formées de la veille étoient devenues plus transparentes, dans l'ordre de leur formation, & que j'y remarquai quelques bulles dont elles m'avoient paru tout-à-fait exemptes: l'eau des n.[os] 1, 2, 3 & 4, se soûtenant

fluidité que celle qu'elle a en cet état. Car en rigueur la fluidité des liquides, ou d'un même liquide dans ses différens états, doit être, toutes choses d'ailleurs égales, en raison inverse des densités ou des pesanteurs spécifiques actuelles. Or l'eau froide est plus dense & plus pesante que l'eau chaude; donc, &c. ce que les expériences justifient. *Hist. Acad. 1741, p. 14 & 17.*

parfaitement

parfaitement dans fa liquidité. D'autres thermomètres que ceux de l'expérience, & qui étoient expofés au grand air, étoient defcendus dans cette même matinée ou pendant la nuit, jufqu'à près de 7 degrés.

Cependant le mercure qui étoit en defcente dans le baromètre, & quelques autres fignes, me faifant craindre, non fans fondement, que le temps ne vint à s'adoucir, je ne voulus point différer à tirer parti de ces quatre vaiffeaux exempts de glace, pour en faire les épreuves fuivantes.

6me Obf. J'ouvris donc le chaffis intérieur vers les 8 à 9 heures du matin. J'appuyai les doigts d'une main fur la patte du verre n.° 1, en la preffant contre la planche, & de l'autre je frappai affez rudement & à coups redoublés avec une clef fur cette planche. Au 12 ou 15me coup je vis toute l'eau de ce verre au deffous de l'huile, & jufqu'au fond fe parfemer de lames de glace diverfement inclinées, & devenir opaque; ce qui alla en augmentant pendant quelques minutes, tout le refte de l'eau entre ces lames me paroiffant encore liquide. Mais ayant enlevé l'huile figée qui étoit au deffus, avec une cuillier à café d'argent, toute l'eau fe prit, à la réferve de quelques gouttes qui reftoient liquides, & qui coulèrent du bloc de glace hériffé de pointes: elles fe gelèrent auffi dans l'inftant, & 15

ou 20 minutes après, le bloc de glace étoit parfaitement solide, tant intérieurement qu'extérieurement, comme il étoit aisé de voir par sa transparence.

7me Obs. A l'égard du n.° 2, chargé aussi d'huile d'olive, & ayant de plus un thermomètre dont la boule plongeoit jusqu'au milieu de l'eau, je craignis qu'en frappant sur le carré de planche qui le soûtenoit, & que l'eau venant à geler, le tube grêle & fragile du thermomètre ne cassât. C'est pourquoi, & pour varier l'expérience, je me contentai de le soûlever doucement & verticalement pour diviser l'eau, & pour faire un trou à l'huile figée qui étoit au dessus. La boule n'étoit pas encore hors de cette huile, que je vis les petites lames de glace se former dans l'eau, & la rendre opaque, ainsi qu'il étoit arrivé au n.° 1. J'y replongeai sur le champ ce thermomètre, & je vis sensiblement monter le mercure dans le tube à mesure que la glace achevoit de se former. Il étoit remonté de 3 degrés, & il se trouvoit par conséquent à 2 degrés au dessous du point de la congélation lorsque je jugeai à propos de le retirer, 1° pour ne pas risquer de le faire casser dans la glace, 2° parce que l'expérience de Mrs Fahrenheit & Micheli me parut suffisamment confirmée par-là.

8me Obs. J'en vins au verre du n.° 3. Je

ne fis que l'agiter, en le tenant à la main & en frappant du coude contre la fenêtre; les lames de glace s'y formèrent sur le champ, toute la partie du verre qui contenoit l'eau devint opaque, &c. comme dans les précédens.

9me Obs. J'arrachai cette glace du verre, en cet état, c'est-à-dire, lorsqu'elle ne faisoit encore qu'un grumeau de glaçons tout hérissé de pointes, je le plongeai dans une cuvette pleine d'eau, que j'avois mise à côté de moi tout exprès, & il y surnagea: épreuve dont j'étois d'autant plus curieux, que dans les expériences de M. Fahrenheit elle n'avoit été faite qu'avec de la glace formée dans le vuide, & que je ne savois pas s'il avoit eu la précaution d'en détacher les lames des parois intérieures du verre, où il n'étoit pas impossible qu'elles ne fussent un peu adhérantes.

10me Obs. Restoit le n.° 4. J'en ôtai doucement le carreau de vitre qui le couvroit, & j'en touchai la superficie de l'eau avec la pointe d'un tronçon de glace ordinaire. La promptitude avec laquelle les petites lames s'y formèrent & rendirent toute la masse de l'eau opaque, depuis le point du contact jusqu'au fond du verre & tout autour, ne peut être mieux comparée qu'à celle de la poudre à canon qui prend feu.

11me Obs. Toutes ces glaces, comme je l'ai déjà dit, devenoient de plus en plus

ſolides & tranſparentes, l'eau qui ſe trouvoit d'abord mêlée entre les petites lames par où elle commençoit à ſe former, ſe glaçant avec elles & ne faiſant plus qu'un tiſſu ſenſiblement uniforme. Les bulles d'air y naiſſoient quelques heures après, & ſe trouvoient le lendemain plus groſſes & plus nombreuſes.

12me Obſ. Pluſieurs de ces bulles dans les verres des jours précédens, & d'où je n'avois point ôté la glace, avoient pris la forme de larmes, dont la tête étoit tournée à peu près vers l'axe du conoïde ou du vaſe, & la queue vers ſes parois.

CHAPITRE V.

Réflexions ſur les obſervations & les expériences précédentes.

ON voit d'abord bien certainement que l'eau peut être de bien des degrés plus froide au delà de celui qui produit la congélation ordinaire, ſans ſe geler.

Que la cauſe la plus vrai-ſemblable & la plus prochaine de cet effet, eſt le *repos de maſſe* de l'eau, c'eſt-à-dire, le repos ſenſible, ou des parties ſenſibles qui la compoſent, lequel il faut bien diſtinguer du repos de ſes parties intégrantes.

Qu'un ſemblable repos de maſſe de l'air qui touche à la ſurface de l'eau, ou le ſéjour

du même air avec lequel elle se trouve exposée à la gelée, produit à peu près le même effet, ou y contribue.

Et enfin que ces deux causes semblent quelquefois agir l'une sans l'autre, & quelquefois l'une avec l'autre.

Car voilà en général ce qu'on peut recueillir de toutes les observations & de toutes les expériences des deux chapitres précédens.

La première de ces deux causes nous est indiquée par son contraire, le mouvement & l'agitation du liquide, qui le font convertir en glace presque en un instant.

La seconde par le changement d'air, par l'introduction d'un nouvel air, qui produit aussi cet effet; soit que cet air prenne la place de celui qui séjournoit sur le liquide, soit par l'introduction subite d'un air quelconque à la place du vuide parfait ou imparfait sous lequel l'eau étoit auparavant; comme on l'a vû dans les expériences de M. Fahrenheit.

Mais il y a cette différence entre ces deux causes de la prompte congélation d'une eau très-froide, que la première agit indépendamment de la seconde, & que celle-ci, dans la supposition qu'elle agit aussi par elle-même, ne peut pourtant avoir lieu sans que l'autre ne s'y mêle; puisqu'un nouvel air ne sauroit être introduit sur le liquide, ou à la place du vuide, sans causer quelque

agitation, quelque légère ondulation dans le liquide. Et c'eſt encore le cas d'un même air pouſſé ou comprimé contre la ſurface de l'eau, comme dans l'obſervation de M. Triewald.

Or on ne peut pas dire réciproquement qu'il ne ſe fait point d'agitation ſans introduction d'un nouvel air, puiſque dans les dernières expériences de M. Fahrenheit, dans quelques-unes des nôtres, & ſur-tout dans celle du n.° 1, *Obſ. 6,* il n'y a certainement point de nouvel air introduit.

Le contact d'un corps étranger, d'un fil d'archal frotté de neige ou de glace, ou de la glace même, avec le liquide, produit encore le même effet que l'agitation & le nouvel air, & ſe trouve auſſi compliqué avec les deux.

Je ne doute pas cependant qu'abſtraction faite de tout le reſte, l'application d'un nouvel air à la ſurface de l'eau, le contact d'un corps étranger quelconque, & ſur-tout d'un morceau de glace, ne puiſſent, dans le cas poſé, y produire ſubitement la congélation.

Mais avant que d'entrer là-deſſus dans un plus grand détail, voyons comment le repos de maſſe peut conſerver à l'eau ſa liquidité, malgré le degré de froideur acquiſe, & bien au delà de celui qui la lui ôte ordinairement.

Nous avons remarqué dans le premier Chapitre de la première Section *, que la matière subtile devoit se mouvoir avec plus de liberté, conserver ou acquerir plus d'activité & de ressort dans la glace, que dans l'eau dont cette glace venoit de se former, & nous en avons donné la raison. C'est que la matière subtile ne trouve plus les mêmes obstacles à vaincre dans des canaux devenus solides; rien ne s'y met plus à la traverse, toutes les parties intégrantes de l'eau y sont fixes & immobiles, il ne s'y fait plus d'interruptions, ils ne varient plus, l'équilibre, la correspondance de mouvement & de ressort decette matière avec celle du dehors, n'y sont plus troublés, comme ils l'étoient sans cesse pendant la liquidité.

Or un long repos de masse, & selon qu'il est plus parfait, dans les parties du liquide, y doit produire quelque chose d'équivalent. Il doit y faire naître, toutes proportions gardées, cette espèce d'équilibre & de mouvemens réglés & périodiques entre les parties intégrantes de l'eau, la

* Pages 105 & 106, où il semble que j'aie voulu préparer l'explication que je donne aujourd'hui de ce phénomène; tant il est analogue à mes principes! Mais on trouvera la même théorie, & en mêmes termes, dans les deux premières éditions, c'est-à-dire, en un temps où ce phénomène étoit inconnu, & dans la troisième, où je l'ignorois encore. *Voy. édit. de Bourdeaux, p. 50; de Béziers, p. 72; & de Paris, p. 584.*

matière ſubtile intérieure, & celle du dehors. Tout s'y meut encore, il eſt vrai, mais tout s'y meut dans le même ordre, dans des routes plus frayées, plus longues même, & moins tortueuſes, & ſur-tout plus conſtantes : car tout fluide actif qui coule dans des canaux tortueux & flexibles, doit tendre ſans ceſſe à les alonger & à les redreſſer. Le refroidiſſement de la gelée, quelque prompte qu'elle ſoit, n'arrive que par degrés inſenſibles à chaque inſtant, & le reſſerrement qu'elle produit ſur ces canaux ne s'y fait auſſi que par degrés inſenſibles, ſans y détruire la continuité que l'équilibre & la correſpondance de mouvemens entre les parties intégrantes du liquide & la matière ſubtile intérieure y entretenoient. Ainſi la maſſe totale & immobile du liquide qui aura pû acquerir cet état, réſiſtera à une gelée plus forte de pluſieurs degrés, que n'en exige communément la ſimple congélation, ſans perdre ſa liquidité. Toûjours environné des mêmes matières ou du même air, il eſt à cet égard dans le cas du feu caché ſous la cendre.

Mais vient-on à rompre cet équilibre, cet accord de mouvemens réciproques, par la deſtruction, par l'accourciſſement, par la flexion, & par la ſubdiviſion continuelle des canaux où le fluide éthéré couloit auparavant dans le liquide ! Tout y va ſubir

le trouble que nous avons décrit, en expliquant la formation de la glace dans ses commencemens, l'agitation inteſtine, une eſpèce de fermentation, le dévéloppement du reſſort de l'air, le redreſſement des parties de l'eau qui en auront eu le temps ou la liberté, & tout de ſuite l'engourdiſſement, & enfin la congélation; d'abord ſur les endroits du liquide où l'uniformité de mouvemens étoit moins parfaite, par des filets ou de petites lames, & bien-tôt par ſa converſion totale en un bloc ſolide de glace. C'eſt-là, à mon avis, ce que produit l'agitation des parties ſenſibles du liquide, lorſqu'elle ſuccède à ſon repos de maſſe pendant la gelée, & avec d'autant plus de rapidité que cette gelée étoit plus forte.

C'eſt le même méchaniſme par rapport à l'introduction d'un nouvel air ſur le liquide; mais outre le mouvement de maſſe qu'il y occaſionne, ſes effets tiennent encore à une autre circonſtance. Nous avons remarqué à l'occaſion d'un autre phénomène *, que la matière ſubtile ou éthérée qui pénètre différentes ſubſtances, s'y meut différemment, & facilite, entretient, ou empêche leurs adhéſions, leurs attractions, ou leurs répulſions réciproques, à raiſon de ſon cours homogène ou hétérogène: à peu près comme la matière quelconque qu'on nomme

* *Ci-deſſus*, p. 110, *édit. de Bourd.* p. 54.

magnétique, fait que deux pierres d'aimant s'unissent ou se repoussent, selon qu'elles sont présentées par l'un ou l'autre de leurs poles. Ainsi une eau tranquille dont la matière éthérée intérieure a eu le temps de s'unir par des mouvemens semblables, ou de se mettre en équilibre par des mouvemens contraires, avec celle de l'air ambiant qui touche à sa surface & qui est toûjours le même, doit se maintenir plus long-temps dans son état de liquidité, que celle où un nouvel air vient frapper & interrompre l'ordre de ces mouvemens.

Un semblable effet sera encore plus sensible dans le cas du n.° 4, *Obs. 10*, où l'on touche la surface de l'eau avec un morceau de glace. Car, comme nous l'avons observé, la matière subtile se meut avec plus de liberté dans la glace que dans l'eau, & sur-tout que dans l'eau déjà resserrée par un grand froid; & de plus, tout fluide qui se meut dans des canaux étroits, dans un liquide ou dans un solide quelconques, doit s'en échapper par le côté où il trouve plus de liberté & moins de résistance. Donc la matière subtile ou éthérée qui étoit renfermée dans cette eau, doit passer à l'instant dans la glace dont on la touche; c'est une issue qu'on lui présente, une espèce de pompe qu'on y applique. Or en abandonnant cette eau, déjà plus froide qu'elle n'avoit besoin

de l'être pour la congélation ordinaire, & que cette matière entretenoit pourtant dans son état de liquidité, en vertu du repos de masse & de l'équilibre acquis avec la matière subtile extérieure, il faut nécessairement que cet équilibre soit rompu, & que la congélation s'en ensuive; & tout cela avec d'autant plus de rapidité que la froideur étoit plus grande, & abstraction faite de la solution de continuité qui s'y complique.

Nous ne sommes peut-être pas à portée dans ce climat de déterminer jusqu'à quel degré de froideur l'eau peut conserver ainsi sa liquidité. C'est une expérience à faire dans des pays plus près du Pole. On l'a vûe liquide ci-dessus au 5me degré de plus que la simple congélation, & il suit des expériences de M. Fahrenheit, qu'elle le peut être encore au 11me, c'est-à-dire, au degré de nos plus fortes gelées & que nous passons rarement dans le climat de Paris.

Le repos acquis dans l'eau du n.° 5, *Obs. 1*, quoiqu'à découvert, & à 2 degrés de froid, en a empêché la congélation pendant plusieurs heures de gelée.

L'huile de lin au dessus de l'eau, n.° 6, *Obs. 4*, en a favorisé la liquidité pendant un plus long intervalle, & un plus grand froid, parce qu'elle en a mieux défendu la surface contre les accidens tels que de petites agitations de l'air, malgré la clôture des deux

K vj

chaſſis, & des grains de ſable ou de pouſſière qui pouvoient y tomber du haut de la fenêtre; mais cette eau a enfin gelé, tandis que celle qui étoit couverte d'huile d'olive a perſévéré dans ſa parfaite liquidité avec un froid plus rude.

En général la nature des matières ambiantes à l'égard de l'eau miſe en expérience, me paroît ne devoir pas être négligée ici, & je mets au nombre de mes omiſſions, de n'y avoir pas employé, outre les ſept vaiſſeaux de verre, du bois, de la pierre, du métal, de la cire, de la réſine, &c. & même de n'avoir pas préſenté à l'eau dans ſon extrême refroidiſſement, & ſans la toucher, une bonne pierre d'aimant & le tube électrique. Je devois cependant commencer par le verre, pour voir ce qui ſe paſſoit dedans, & auſſi par ſon affinité avec l'eau *.

Il faudroit auſſi s'éclaircir ſur deux autres faits que je ne ſuis plus à temps de vérifier, ſavoir,

1° Si une matière quelconque avec laquelle on rompra le tiſſu de l'eau à ſa ſuperficie, ſelon que cette matière ſera plus ou moins analogue au verre, à la glace ou à l'eau, ne produiroit point la congélation ſubite. La condition que M. Micheli met au fil d'archal dont il la touche, qu'il ſoit frotté de glace ou de neige, ſemble ſuppoſer qu'il en ait fait

* Page 109. *Sup.*

l'épreuve ſans cette préparation : mais je ſuis fort trompé ſi lorſque l'eau aura atteint à peu près le dernier degré de froideur dont elle eſt ſuſceptible ſans ſe geler, tout corps qui la diviſera ou l'agitera le moins du monde ne fera pas quelque choſe de ſemblable, quoique peut-être moins promptement.

2° Ce qui en arriveroit de l'épreuve ſuivante. Soit pris un vaiſſeau cylindrique de verre, par exemple, de 4 à 5 pouces de diamètre & d'autant de hauteur, qui ait à ſon milieu ou autour de ſon axe un autre vaiſſeau cylindrique de même matière, de même hauteur, & d'un pouce de diamètre, fixement attaché ou ſoudé à ſon fond. Soit la capacité du grand cylindre, entre ſes bords & ceux du petit cylindre, remplie d'eau juſqu'à environ trois quarts de pouce de ſes bords, & cette eau couverte d'un demi-pouce d'huile d'olive, comme il à été pratiqué ci-deſſus n.° 1 dans le verre, le petit cylindre du milieu demeurant vuide; & ſoit enfin le tout expoſé à la gelée prochaine, avec les précautions & dans des circonſtances à peu près ſemblables à celles qui ſont énoncées avant ce n.° & dans ce n°. Si, conformément aux obſervations précédentes, cette eau parvient à 3, 4 ou 5 degrés, &c. de froideur au delà du terme de la congélation, ſans ſe geler, & qu'on verſe dans le petit cylindre intérieur, & juſqu'à la ſurface

de l'eau du grand cylindre, de l'eau moins froide que la glace, celle-ci ne devra-t-elle pas s'y geler! n'eſt-ce pas le cas de la congélation artificielle par le mélange de ſel & de glace autour d'une bouteille! Que ſi l'eau glacée dans le petit cylindre communique enſuite ſon état à celle du grand par l'affinité ou l'homogénéïté de mouvemens de la matière éthérée dans la glace, dans le verre & dans l'eau, dont nous avons déjà parlé pluſieurs fois, ne ſera-ce pas encore un phénomène très-curieux à obſerver!

Quant au mauvais ſuccès du n.° 7, *Obſ. 3*, je conjecture qu'il vient de ce qu'ayant chauffé le carreau de vitre qui en couvroit le vaiſſeau pour le faire joindre avec les bords du verre par le moyen de la cire, l'air du deſſous y a été d'abord conſidérablement raréfié, & y a laiſſé une eſpèce de vuide juſqu'à la gelée, qui, augmentant de plus en plus l'effort de l'air extérieur pour y entrer, lui aura donné lieu de s'y faire jour par quelqu'endroit foible de la cire, ou par l'endroit qui joignoit le moins bien; d'où ſera ſurvenue une irruption d'air, comme dans les expériences de M. Fahrenheit, lorſqu'il caſſoit la queue de ſon petit ballon de verre.

Les petites lames de glace qui ſe forment ſubitement depuis la ſuperficie de l'eau juſqu'au fond, confirment ce que nous avons obſervé, que la congélation commence par

des filets, par de petites lames comme de canif *(a)*, & que les parties de l'eau qui se glacent, tendent à s'assembler sur un plan *(b)*. Et ce que nous avons ajoûté, que la congélation commence toûjours par les bords & par la surface de l'eau, n'est nullement détruit par cette congélation subite, qui parcourt toute la masse du liquide depuis sa superficie jusqu'au fond du vaisseau, & toutes ses parois intérieures, selon que l'agitation ou l'équilibre rompu commence par quelqu'une de ces parties. Car il est clair que dans le cas de la congélation ordinaire, l'eau n'étant pas encore au degré de froideur de la congélation avant que de se geler, sa congélation doit commencer par les premières de ses parties qui ont acquis ce degré de froideur, c'est-à-dire, par ses bords, par sa surface supérieure, ou par les parties quelconques que l'air extérieur de la gelée vient à frapper les premières, & passer de-là à toutes les autres, plus ou moins promptement, selon que la gelée est plus ou moins prompte & plus ou moins forte : ce qui ne doit pas avoir lieu à l'égard d'une eau qui se trouve déjà, depuis plusieurs heures ou plusieurs jours, uniformément plus froide dans toute sa masse, que ne l'exigeoit la congélation.

Enfin, pour ne pas grossir inutilement

(a) Page 108.
(b) Page. 165.

ces remarques, il faut faifir ici, comme en toute autre rencontre, ce qu'il y a de plus général & de mieux conftaté fur le phénomène en queftion, & bien diftinguer entre toutes les expériences & les obfervations qui concourent à le décrire & à l'éclaircir, celles que le hafard feul a fournies, & où l'Obfervateur n'a fouvent ni vû, ni fongé à voir ce qu'il y avoit de plus effentiel, d'avec celles qui ont été faites avec deffein & prévoyance.

CHAPITRE VI.

Si l'eau peut quelquefois fe geler dans tout un pays par un air moins froid que celui de la congélation ordinaire.

CE phénomène, que quelques Phyficiens regardent comme certain, me paroît cependant fufceptible de bien des doutes & des diftinctions.

Il ne fauroit être l'inverfe de celui que nous venons d'examiner, que dans des circonftances égales ou équivalentes, dans le cas où l'eau qui fe gèle ne fe geleroit pas, s'il ne lui furvenoit quelque accident, quelque modification nouvelle, indépendamment de la température actuelle de l'air extérieur.

Puifque dans le phénomène précédent l'eau ne demeure liquide, quoiqu'expofée

à la gelée, qu'en vertu du mouvement & de l'équilibre entretenus dans la matière subtile intérieure qui fait sa liquidité, il faut ici au contraire que le mouvement de ce fluide, de ce feu élémentaire intérieur, se trouve ralenti, & son équilibre rompu avec la matière subtile extérieure, par quelque cause extraordinaire & accidentelle.

Car si cette eau différoit réellement par elle-même, dans ses principes ou dans sa contexture, de celle que nous voyons toûjours se geler au degré de froid indiqué sur nos thermomètres pour la congélation, comme il pourroit arriver en différens pays, & par quelque circonstance locale, ce seroient alors deux liquides différens, & il n'y auroit pas de quoi être surpris que l'un se glaçât à un air où l'autre conserveroit toute sa liquidité.

Il faut donc soigneusement distinguer, sur la question présente, la congélation accidentelle de l'eau dans le même pays & le même lieu où elle a coûtume de demeurer liquide par le même degré de froid, d'avec la congélation constante de l'eau dans un autre pays ou dans un autre lieu, par le même degré de froid où communément elle demeure liquide dans la plûpart des pays.

Examinons d'abord le premier de ces deux cas, celui où il survient quelque accident particulier à cette eau qui se gèle, quoique

la température de l'air ne ſoit pas à la congélation.

Je ne tiendrai point compte de pluſieurs petites irrégularités, qui ne roulent que ſur un degré de plus ou de moins de froid ou de chaud indiqué ſur le thermomètre. Car mille accidens, le lieu, l'expoſition à tel ou tel vent, ou à l'air calme, le mur, l'arbre ou le terrein, contre lequel l'inſtrument eſt appuyé, ou qu'il avoiſine, & qui a plus ou moins retenu de la température des jours précédens, la matière, l'endroit, la forme ou la grandeur du vaiſſeau où repoſe l'eau qu'on obſerve, & une infinité d'autres circonſtances, peuvent produire toutes ces irrégularités & de plus grandes, ſans qu'on ſoit toûjours en état de s'en apercevoir. Cependant je puis dire que je n'ai guère rien vû arriver à la congélation dans ce genre, dont je ne me ſois donné raiſon par un léger examen.

Nous ne devons donc nous arrêter qu'aux cas où l'irrégularité eſt plus marquée.

Mais je prends garde, qu'il faut faire encore ici une diſtinction importante, ſavoir, ſur la température de l'air d'où l'on part, & ſi le temps va du chaud au froid, du temps doux à la gelée, ou au contraire, du froid au chaud & de la gelée au dégel : car cette circonſtance eſt très-capable d'influer ſur toutes ces exceptions.

Je ne vois pas qu'on en ait obſervé de conſidérable dans le premier cas, où l'on va du temps doux à la gelée ; du moins il ne s'en eſt point préſenté à moi que je ne puiſſe ramener à quelqu'une ou à pluſieurs des cauſes accidentelles dont j'ai fait mention ci-deſſus.

Reſte le cas où l'on va de la gelée au dégel, où l'eau demeure encore gelée, quoique le temps ſoit fort adouci, où elle ne ſe dégèle pas à un degré de chaleur indiqué par le thermomètre, qui ſe trouve fort au deſſus du terme de la congélation, & d'où en effet la liqueur deſcend toûjours pour aller à la congélation & à la gelée.

Mais je voudrois encore ſavoir, ſi ceux qui nous rapportent ce phénomène prennent pour une véritable fonte de la glace une ſimple ſueur preſque imperceptible, ou s'ils exigent que l'eau ruiſſèle viſiblement de deſſus la pièce de glace : car j'ai vû bien des fois au commencement du dégel, de ces ſueurs ſe maintenir pluſieurs heures & un jour entier, avant que d'aboutir au *ruiſſellement*, & donner au thermomètre le temps de monter à deux ou trois degrés au deſſus de la congélation, avant que le dégel fût plus ſenſible.

On ne peut douter que la promptitude ou la lenteur des dégels n'apporte quelquefois ici des différences aſſez marquées ;

mais prenant les choses à la rigueur, je dis que le phénomène suit, en général, de ce que nous observerons & que nous tâcherons d'expliquer en son lieu, savoir, que la liquidité détruite dans l'eau qui s'est glacée, est beaucoup plus long-temps à se rétablir qu'elle n'en a été à se détruire.

Il peut, sans doute, y avoir quelques exceptions & quelques variétés de temps & de quantité dans ces rétablissemens. *J'ai souvent remarqué en hiver,* dit M. Musschenbroek *(a), non seulement pendant une année, mais encore pendant plusieurs, & même presque toutes les années, que lorsqu'il commençoit à geler, le mercure se trouvoit dans le thermomètre au 32 degré,* c'est-à-dire, au terme de la congélation *(b), & que la gelée ne laissoit pourtant pas de continuer, quoique le mercure* de ce thermomètre *s'élevât jusqu'au 36 degré, & qu'il montât même jusqu'au 41 degré, au lieu qu'il dégèle ordinairement quand le mercure se trouve au 33 degré, & qu'il dégèle même fortement quand il s'est élevé jusqu'au 36 & 40 degré.* Voilà l'exception à l'ordre général, la glace ne fond pas quelquefois lorsque le thermomètre monte de la gelée au 36me & même jusqu'au 41me degré, quoiqu'elle commence d'ordinaire à se

(a) Essai de Physique, p. 445.

(b) Comme au thermomètre de Fahrenheit, *sup. p. 207.*

fondre lorsque le mercure du thermomètre est remonté au 33me degré, & à se fondre *fortement*, lorsqu'il arrive au 36me & au 40me. Cet intervalle de 33 à 40 ou à 41, répond à environ 3 degrés du thermomètre de M. de Reaumur.

Sur quoi je remarque que cet habile Observateur ne dit pas qu'il ait jamais vû l'eau se glacer avant que la température de l'air arrivât du temps doux à la gelée, lorsque le thermomètre n'est encore descendu qu'au 41me ou au 36me; mais seulement qu'il l'a vûe encore glacée, ou ne se pas dégeler, lorsqu'après la gelée le temps s'adoucissoit jusqu'à ces degrés de chaleur : ce qui confirme & la distinction que j'en ai faite ci-dessus, & la cause générale que j'en ai assignée.

Or si c'étoit autre chose que l'absence ou l'affoiblissement de la matière subtile ou ignée qui produisît la congélation de l'eau, si c'étoient des *corpuscules frigorifiques* quelconques qui s'introduisissent dans l'eau sans s'introduire dans l'air, & sans faire baisser le thermomètre, comme quelques Auteurs qui insistent sur ces exceptions le prétendent pourquoi ces exceptions n'auroient-elles pas lieu, lorsque le temps va du chaud au froid avant la gelée & avant que l'eau eût gelé aussi-bien qu'après, & en allant de la gelée au dégel ? Ces gelées subites qui arrivent dans

certains pays par les corpuſcules nitreux & ſalins qui ſe répandent tout à coup dans l'air, ſe font également ſentir, & dans l'air & dans les eaux, & ſur les hommes & ſur le thermomètre; ce n'eſt même vrai-ſemblablement que par l'air & par tous les milieux d'alentour qu'ils agiſſent ſur les eaux; comme nous l'avons expliqué dans la première partie.

Mais enfin, dira-t-on, d'où viennent donc ces cas irréguliers dont il s'agit ! Voilà, je l'avoue, ce que je ne dirai pas exactement, ne les ayant jamais obſervés dans cet eſprit, ou plûtôt les ayant toûjours cru devoir attribuer à quelqu'une des circonſtances dont j'ai parlé, ou à la complication de ces circonſtances, ou à la cauſe, l'eſpèce, l'intenſité ou la durée de la gelée qui a précédé, ſelon qu'elle étoit elle-même l'effet de quelqu'une des cauſes générales ou particulières que j'ai décrites dans la première partie, & en même temps à la cauſe, à l'eſpèce du dégel, & aux circonſtances qui l'accompagnoient.

On verra encore mieux dans la ſuite combien tout ceci eſt plein d'équivoques & de faits admis ſans preuve.

CHAPITRE VII.

Suite du même sujet; examen du second cas, savoir, si l'eau se gèle constamment dans quelques pays par un degré de froid beaucoup moindre que celui de la congélation ordinaire indiqué sur nos thermomètres.

ON a souvent allégué ce fait indistinctement avec les précédens, & l'on en a tiré les mêmes conséquences en faveur des corpuscules frigorifiques, sans s'apercevoir qu'il étoit d'une toute autre classe, & sans se rendre trop difficile sur sa réalité. Il est clair cependant, qu'on n'en pouvoit conclurre autre chose, sinon que l'eau des pays où il auroit lieu devroit être d'une constitution différente de celle de nos climats, &, quoi qu'il en soit, que la cause générale de la congélation, non plus que celle de la liquidité, n'en sauroient recevoir la moindre atteinte. Car où seroit l'inconvénient, que la même cause eût plus ou moins d'activité à raison des pays & des climats où elle s'exerce, comme elle en a peut-être dans différentes planètes du tourbillon solaire, sur les liquides & sur les solides qui les composent,

à raiſon de leur éloignement du Soleil, & de leur ſtructure particulière !

Il ne ſeroit donc pas ſurprenant que le terme de la congélation variât, ſuivant les différentes contrées, les différens climats, & même ſelon certaine loi, de manière, par exemple, qu'il fallût plus ou moins de froid pour convertir l'eau en glace dans un pays que dans l'autre, ſelon qu'il ſeroit plus ou moins près du pole. Il n'y auroit rien là qui fût abſolument contraire à nos principes; mais contraire ou non, il faut du moins que l'exception en ſoit bien conſtatée.

La plus fameuſe obſervation qu'on apporte ſur ce ſujet, &, je crois, la ſeule qui fût concluante, eſt celle de M. Cyrillo, Profeſſeur de Médecine à Naples. Les nouvelles littéraires l'annoncent avec confiance. *Voici*, dit-on, *une expérience faite à Naples avec le thermomètre de Londres du fameux Haukſbée, & communiquée à l'Académie Gallianique par le Médecin Cyrillo. La Table Angloiſe marque la glace au degré 65; à Naples la glace ſe forme conſtamment au degré 55, plus ou moins. Cela prouve qu'il faut encore autre choſe que le froid pour former la glace; ce qui eſt*, ajoûte le Journaliſte, *une choſe très-connue* *. Des Phyſiciens diſtingués, tels

* Journ. Hiſt. de la Rép. des Lettres, *To. 2, p. 288, an. 1733.*

que

que M. Muſſchenbroek *(a)* & autres la citent & s'en ſervent dans le même eſprit ; & elle eſt rapportée en pluſieurs endroits des Tranſactions Philoſophiques *(b)* de la Société Royale à qui M. Cyrillo l'envoya, après l'avoir répétée, comme il l'aſſure, pendant pluſieurs années. Mais il eſt bon de voir comment M. Cyrillo lui-même s'en explique dans le n.° 430 des Tranſactions.

» Le plus grand froid de l'année dernière (1731) & du commencement de celle-ci « (1732) a été obſervé, lorſque la liqueur « du thermomètre deſcendoit au 56me & « 57me degré, temps auquel on voyoit de « la neige ſur les montagnes, & où il geloit « dans la ville. De même au mois de Dé- « cembre *ſuivant*, lorſqu'on a vû de la glace, « le thermomètre étoit deſcendu à 55 & 56: « ſur quoi il faut remaquer qu'à la Table « ou *Echelle* du thermomètre d'Haukſbée, « le ſigne de la gelée, en Anglois *Froſt*, eſt « indiqué au 65me degré. Mais par les obſer- « vations que je fais depuis pluſieurs années, « j'ai trouvé que la glace ſe formoit lorſ- « que la liqueur de ce thermomètre, qui « m'a été envoyé de Londres, deſcendoit « ſeulement au 55me. D'où l'on ne peut « nier qu'il ne faille un moindre froid pour «

(a) Eſſai de Phyſique, p. 445.
(b) Voy. les num. 424, 430, 434, 435, &c.

» la formation de la glace à Naples qu'à Londres. »

Qui ne croiroit, en voyant un fait si bien circonstancié, admis par tant d'habiles gens, employé à détruire les idées les plus reçues sur la congélation de l'eau, & pour établir une hypothèse qui n'est rien moins que lumineuse, que c'est un des plus certains de la Physique moderne ? Nous allons montrer cependant combien il est équivoque, pour ne rien dire de plus.

Feu M. Martine, de la Société Royale de Londres, & de celle d'Edimbourg, ayant passé à Paris en 1739, me communiqua quelques articles d'un excellent Traité auquel il travailloit sur la théorie & la construction des thermomètres, & qui fut donné l'année suivante au public *(a)*. L'un de ces articles regardoit la fameuse observation de M. Cyrillo ; & il résulte sommairement de ce qu'il en dit *(b)*,

Qu'en général, les thermomètres d'Hauksbée, ou *Anglois*, ou *de la Société*, comme M. Martine les nomme, ne sont nullement exacts dans leur graduation, & sur-tout par rapport au terme de la glace. Il distingue ceux dont la Société garde le *modèle*, de ceux qu'on fait communément à Londres,

(a) Sous le titre rapporté ci-dessus dans la note de la page 207.

(b) Pages 192, 227.

& qu'on envoie dans les Provinces & hors du Royaume. Cependant ce qu'il ajoûte enſuite ſemble tomber ſur le principe de conſtruction des uns & des autres. « L'échelle de ces thermomètres commence, dit-il, « par o, c'eſt-à-dire que o eſt marqué au « haut de la machine (je n'en ſais pas la « raiſon) & les nombres croiſſent en deſ- « cendant, à meſure que la chaleur décroît. « Vers le haut de l'échelle eſt écrit *très-chaud;* « à 25 degrés, *chaud;* à 45 degrés, *tempéré;* « & le nombre 65 indique le point de la con- « gélation. Mais par les expériences que j'ai « faites avec quelques-uns de ces thermomè- « tres qui avoient été conſtruits aſſez exacte- « ment ſur le modèle qu'on garde à la Société « Royale, j'ai trouvé qu'en les plongeant « dans de la neige qui ſe dégeloit, l'eſprit de « vin deſcendoit vers les 78 ou 79 degrés, « près de 14 degrés plus bas que le point où « l'on s'étoit arrêté juſqu'à préſent : aug- « mentation énorme, & qui réduiroit au pro- « dige les obſervations du Docteur Cyrillo « à Naples, ſelon leſquelles la congélation « arrive lorſque la liqueur n'eſt encore deſ- « cendue qu'au 55me degré, ſi ſon ther- « momètre avoit été véritablement conſtruit « ſur l'étalon de la Société. »

En effet, ce ſeroit alors de 24 degrés que la gelée devanceroit à Naples le terme ordinaire de la congélation, ou de plus de

9 degrés du thermomètre de M. de Reaumur; car c'eſt à peu près ce que valent 24 degrés de celui d'Haukſbée, ſelon la table de comparaiſon qu'en a donnée M. Martine *.

Auſſi ne doute-t-il pas qu'il n'y ait ici, ou de la négligence de l'ouvrier dans la conſtruction du thermomètre, ou de celle de M. Cyrillo, qui aura tenu cet inſtrument dans quelque lieu moins froid que ceux où l'air glacial ſe faiſoit ſentir : & voici enfin le ſoupçon pleinement juſtifié, quelle que ſoit la cauſe de l'erreur.

Je voulois en écrire à Naples, mais ayant appris que M. Taitbout Conſul de France à cette Cour, étoit à Paris, j'ai cru ne pouvoir mieux m'adreſſer qu'à lui, & d'autant plus, qu'il nous a donné des obſervations météorologiques très-exactes, faites à Naples dans le cours des années 1742, 1743 & 1744, dont il ſera fait mention dans l'Hiſtoire ou dans les Mémoires de l'Académie des Sciences.

M. Taitbout m'a donc aſſuré, & a bien voulu encore me le certifier par écrit, qu'il n'avoit jamais rien vû à Naples de pareil à ce que M. Cyrillo en a publié, que la glace y paroiſſoit dans la ville, aux fontaines &

* Il a fixé néanmoins depuis à 77 le vrai terme de la congélation ſur le thermomètre de la Société, pour des raiſons qu'il eſt inutile de rapporter.

aux autres pièces d'eau précisément comme à Paris & par-tout, lorsque le thermomètre de M. de Reaumur, dont il se servoit, étoit descendu au terme de la congélation ; qu'à la vérité il avoit vû quelquefois telle fontaine ou telle pièce d'eau glacée avant que la liqueur du tube fût parvenue à ce terme, à un demi-degré, ou à un degré près, plus ou moins ; mais que cela n'étoit arrivé que lorsque cette eau, par la situation du lieu, au déboucher de quelque rue ou de quelque carrefour, s'étoit trouvée exposée au vent qui venoit des montagnes voisines couvertes de neige : effet très-ordinaire, commun à tous les pays, & dont nous avons donné raison en plusieurs endroits de cet ouvrage, & sur-tout dans le chapitre IX de la première partie.

Il est à remarquer que le thermomètre qui a servi aux observations de M. Taitbout, *étoit exposé au nord, en plein air, sans bâtimens d'un côté ni de l'autre, & élevé de 34 pieds au dessus du sol d'un jardin.* Et ces conditions sont si essentielles, que je trouve à côté d'une de ses observations du 1er Février 1744, une note, où il avertit que son thermomètre d'observation étant 1 degré au dessous du terme de la glace, *un autre thermomètre* de la même construction, *dans une chambre sans feu, étoit au lever du Soleil à 6 degrés au dessus.* Ce qui donne

une différence beaucoup plus grande que celle que M. Cyrillo avoit voulu établir entre la congélation de l'eau à Naples & à Londres; car 6 degrés du thermomètre de M. de Reaumur en valent 15 de celui d'Haukſbée, ſelon la table de comparaiſon de M. Martine.

CHAPITRE VIII.

Suite du même ſujet conſidéré ſous une autre face, ſavoir, ſi l'eau peut être refroidie par une violente agitation de ſa maſſe, ou par l'impulſion redoublée d'un nouvel air, & enfin glacée.

IL ſuit de tout ce qui a été obſervé ci-deſſus, que l'eau proprement dite, & ſans mélange, ſe gèle par-tout au même degré de froid, & qu'en général, elle ne ſe gèle que quand l'air ou le milieu quelconque eſt arrivé à ce degré. Mais n'y auroit-il point de cas particulier, où une eau moins froide, & dans un air moins froid, ſeroit ſenſiblement refroidie, & enfin glacée! Pouſſons là-deſſus nos doutes & nos recherches plus loin qu'on n'a porté les aſſertions précipitées dont nous venons de faire voir le peu de fondement.

Nous avons conclu des expériences &

des obſervations rapportées dans les Chapitres III & IV, que le repos de maſſe de l'eau & ſon ſéjour dans le même air ou dans le même milieu, lui conſervoient ſa liquidité, quoiqu'elle fût refroidie au delà du degré de la congélation. Nous en avons donné pour raiſon, que le repos de maſſe dans un même milieu favoriſoit le mouvement inteſtin de l'eau, en permettant à la matière ſubtile ou ignée intérieure du liquide de prendre des mouvemens réglés & périodiques qui entretenoient ſon équilibre avec la matière ſubtile extérieure; & nous avons obſervé que la moindre interruption à ce repos, & le plus petit changement de milieu rétabliſſoient l'eau dans ſa diſpoſition à ſe glacer par ſa froideur, & la faiſoient glacer en effet preſque ſubitement. Or de toutes ces expériences, & de toutes ces inductions, ne s'en ſuit-il pas naturellement, & par la raiſon des contraires, qu'une violente agitation de maſſe, & qu'un changement continuel de milieu doivent refroidir, & enfin glacer l'eau encore liquide, & dans un air moins froid que celui de la congélation? Voyons du moins ſi la Nature & les expériences s'accorderont avec ce raiſonnement.

Les expériences ſur ce ſujet me paroiſſent d'abord très-difficiles à pratiquer. Car comment agiter violemment une maſſe d'eau

ſans produire dans ſon intérieur une agitation, une colliſion de parties qui ne la diſpoſe point à une plus grande chaleur, ſelon la loi générale des corps frottés les uns contre les autres ! & ſi cette agitation de maſſe, pour avoir ſon effet, doit lui procurer une continuelle mutation d'air ou de milieu, dans quel vaiſſeau la mettre pour la contenir, pour l'empêcher de ſe diſſiper par cette agitation même, ſans qu'avec cela il la défende du choc de l'air auquel elle doit être expoſée ! L'air renouvellé ne heurtera-t-il pas ſans ceſſe les parois extérieures du vaiſſeau, ſans toucher à ſes parois intérieures ! La ſurface contigue de l'eau n'en ſera donc point frappée, & quelle que ſoit alors l'agitation totale de maſſe, cette agitation devient nulle relativement à l'air ambiant, & au liquide contenu dans le vaiſſeau.

Cependant, comme tout ceci roule ſur ce qu'il en doit être de même, ou d'une eau agitée en maſſe dans un air tranquille, ou d'un air agité & pouſſé violemment contre une eau en repos, il s'ouvre une nouvelle route pour nous éclaircir du fait, & je me rappelle à cette occaſion un phénomène qui commence à jetter ici quelque jour.

Je n'ai preſque jamais plongé la boule d'un thermomètre dans un liquide, dans de l'eau, par exemple, ſans qu'en le retirant

de cette eau, l'esprit de vin ou le mercure du tube n'ait baissé sensiblement, même dans un air un peu moins froid que l'eau d'où je le retirois. Mais qu'arrive-t-il par-là à ce thermomètre, que d'être mouillé de l'eau d'où il sort, & à la pellicule d'eau qui le mouille, que de se trouver tout-à-coup dans un nouveau milieu, dans un air où vrai-semblablement la matière subtile ne se meut pas comme dans l'eau, & avec laquelle l'équilibre dont nous avons parlé dans le Chapitre V, n'a pas eu le temps de se former! La quantité de cette descente est à la vérité très-petite, d'un quart de degré, d'un demi-degré, plus ou moins; mais qu'importe si elle est réelle & constante, comme je viens de le vérifier avec toutes les précautions que demande un tel fait! Il est vrai encore que le nouveau milieu, que l'air, n'est ni agité ni poussé violemment contre cette pellicule d'eau: aussi l'effet en est-il peu sensible. Cependant l'air n'est jamais sans quelque agitation de parties dans un lieu tel qu'une chambre; mais exposez au vent la boule de ce thermomètre ainsi mouillée, ou soufflez simplement contre de dix à douze pouces de distance, vous verrez encore un peu descendre la liqueur dans le tube.

Cela posé, j'en viens aux expériences suivantes,

Première expérience. Ayant placé à 7 ou 8 pouces de distance l'un de l'autre les deux thermomètres à mercure décrits ci-dessus *, j'ai enveloppé la boule de l'un d'un linge lié au dessus avec un fil : je l'ai plongée dans l'eau dont j'avois rempli un vaisseau de fayence de trois pouces de diamètre, & j'ai laissé le tout en cet état jusqu'à ce que le mercure de ce thermomètre fût descendu ou monté au point de température de l'eau. Ce point s'est trouvé le même que celui de l'air marqué sur l'autre thermomètre qui étoit auprès ; & comme la chambre où j'ai fait ces expériences est toûjours fermée & sans feu, & que l'air s'y soûtient long-temps au même degré de chaud ou de froid, j'y retrouvai le lendemain les deux thermomètres au même point, savoir, à 8 degrés au dessus du terme de la congélation. J'avois pris de la chambre voisine où l'on fait du feu, un gros soufflet que j'avois mis quelques heures auparavant dans celle de l'expérience pour l'y laisser prendre à peu près la même température. Je retirai du vaisseau le thermomètre qui y plongeoit, ou plûtôt j'ôtai simplement le vaisseau qui étoit au dessous, & je soufflai assez fortement avec le soufflet de 4 à 5 pouces de distance contre le linge mouillé qui en enveloppoit la boule. Je vis alors le mercure du tube descendre sensiblement, & qui en moins de deux minutes

* Note de la page 214.

ſe trouva 2 ½ degrés plus bas qu'auparavant, c'eſt-à-dire, à 5 ½ degrés au deſſus du terme de la congélation, où il s'arrêta. Je ſoufflai de même un moment après contre la boule toute nue du ſecond thermomètre; mais le mercure monta dans celui-ci d'environ un demi-degré, conformément à ce qui a été dit ci-deſſus * ſur une pareille expérience, & apparemment par les mêmes raiſons: preuve évidente que le mercure n'étoit deſcendu dans le premier qu'en vertu du linge mouillé ou de l'eau qui en enveloppoit la boule, & qui étant refroidie par la colliſion de l'air, quoique moins froid, communiquoit ſa froideur au mercure.

Cette expérience ayant été répétée pluſieurs fois & en divers temps, comme il faudra l'entendre de celles qui ſuivent, donna toûjours à peu près le même abaiſſement, à un demi-degré de différence plus ou moins: ainſi l'effet n'en eſt pas équivoque. Sur quoi il faut obſerver,

1.° Que le linge mouillé autour de la boule du thermomètre y entretient une pellicule d'eau qui, dans le cas de cette boule ſimplement plongée dans l'eau, s'évaporeroit ou ſe diſſiperoit bien vîte par le ſouffle, & qu'elle y eſt auſſi par ce moyen ſubdiviſée en une infinité de petites parcelles entre les interſtices des filamens qui en ſont imbibés;

* Page 54.

car il y a grande apparence que plus la maſſe d'eau frappée par l'air eſt petite, plus & plûtôt l'effet de cette impulſion ou de ce contact eſt ſenſible.

2.° Que ſi par quelque machine on ſe procuroit un ſouffle non interrompu qui frappât en même temps la boule de tous les côtés, il eſt à préſumer que l'effet ſeroit plus prompt & plus conſidérable.

3.° Que ſi ces expériences étoient faites en hiver, & lorſque le temps approche de la gelée, il eſt encore très vrai-ſemblable que l'effet en ſeroit plus marqué, & qu'il iroit peut-être juſqu'à la congélation de l'eau. Mais c'eſt ce que je n'ai point fait, & que je ne ſuis point en état de faire avant la publication de cet ouvrage.

4.° Il m'a toûjours paru que ces expériences réuſſiſſoient mieux en un temps ſec, par le vent de nord, & lorſque le mercure eſt fort haut dans le baromètre, qu'en un temps humide, par le vent de ſud, & lorſque le baromètre eſt bas : en cela ſemblables à celles de l'Electricité.

5.° Une autre obſervation importante ſur ce ſujet, c'eſt qu'après l'expérience le linge mouillé demeurant autour de la boule du thermomètre, & le mercure y étant deſcendu de 2, de 2 $\frac{1}{2}$, ou de 3 degrés, il ſe ſoûtient pluſieurs heures en cet état, quoique dans un pareil eſpace de temps une beaucoup plus

grande masse d'eau exposée à un air plus froid que celui de la chambre d'expérience, & remise ensuite dans cette chambre, en reprenne la température.

6.° Enfin lorsque la boule retirée de l'eau avec son linge, sans qu'on y souffle dessus, est simplement exposée à l'air de la chambre, le mercure y descend de près de 2 degrés; mais au lieu que dans le cas de l'expérience cette descente, & une plus grande descente, arrive en moins de deux minutes, dans celui-ci ce n'est qu'après plusieurs heures. Et si, en cet état, on y pousse l'air du soufflet, le mercure du tube descend encore presque dans le moment.

Seconde expérience. J'ai pris une bouteille cylindrique de verre de 3 pouces de hauteur, sur environ 15 lignes de diamètre, & dont le goulot étoit assez large pour y laisser entrer la boule d'un des thermomètres. Je l'ai entourée d'une bande de linge qui en faisoit deux ou trois fois le tour, & qui se replioit sur son fond, & près du goulot. J'ai assujéti ce linge avec du fil, & attaché la bouteille par le goulot au bout d'une ficelle de 5 à 6 pieds de longueur. Je l'ai remplie d'eau, & je l'ai plongée ainsi dans un vase plein de la même eau, jusqu'à ce que le tout y eût repris la température de la chambre, qui étoit alors de 10 degrés au dessus de la congélation. Après quoi,

l'ayant retirée du vase, par la ficelle, je l'ai fait agiter en rond, à la manière dont on fait tourner une fronde, l'espace de 3 minutes. Il en est tombé seulement quelques gouttes d'eau par le goulot, tout le reste demeurant rejeté & retenu vers le fond par la force centrifuge. J'y ai plongé sur le champ le thermomètre, & le mercure y est promptement descendu d'environ 2 degrés.

Une bouteille de plus grande surface relativement à sa capacité, & attachée à une roue où elle tourneroit plus rapidement & plus long-temps, donneroit peut-être un plus grand refroidissement; mais celui-ci suffit pour notre but, & je n'ai ni le temps ni la commodité d'en pousser plus loin l'épreuve.

Troisième expérience. Dans la partie méridionale de la Chine, à Quanton, on se sert pour rafraîchir l'eau d'une machine dont la construction porte entièrement sur le principe des deux expériences qu'on vient de voir. C'est ce que j'ai appris de M. Godeheu de la Compagnie des Indes, qui ayant été long-temps dans cette ville, & y ayant tout vû avec des yeux très-éclairés, en a rapporté une de ces machines, & a bien voulu m'en faire présent. Elle consiste en une espèce de lanterne de petit osier délié, travaillée à jour en forme de treillis ou de filigrane, de figure cylindrique, ayant pour couvercle une calotte de même, & pour

baſe une grille faite avec des tringles de bois qui ſe croiſent, & ſur laquelle poſe une groſſe bouteille ſphéroïde à long & gros col, qu'on remplit d'eau. Cette bouteille eſt d'une terre cuite, griſâtre, poreuſe, & d'environ une ligne d'épaiſſeur, que l'eau pénètre bien-tôt juſqu'à ſa ſurface extérieure; la lanterne a quatre pieds, pour être poſée ſur une table, & des cordons pour être ſuſpendue. Placée de l'une de ces manières en quelqu'endroit de la maiſon, entre deux portes ou deux fenêtres qui donnent un courant d'air, on prétend que l'eau s'y rafraîchit conſidérablement.

Je ne ſais juſqu'où peut aller ce rafraîchiſſement dans ces pays chauds & autour du Tropique; mais voici quel a été le ſuccès de l'expérience à Paris, en un temps où mes thermomètres étoient au tempéré, 10 degrés au deſſus de la congélation, & où il ſouffloit un petit vent d'oueſt.

Je ſuſpendis vers les onze heures du ſoir la machine ainſi préparée, à la porte de la chambre d'expérience, entre la fenêtre de cette chambre qui eſt vis-à-vis, & qui donne ſur l'oueſt, & celle de la chambre voiſine qui regarde l'eſt, après les avoir ouvertes l'une & l'autre, & j'expoſai au même courant d'air, tout proche de la lanterne, un des thermomètres décrits ci-deſſus. Le lendemain matin vers les ſept heures,

je trouvai ce thermomètre à 8 degrés au dessus du terme de la congélation, & l'ayant sur le champ plongé dans l'eau de la bouteille, il y descendit, en moins d'une minute, à 6, c'est-à-dire de 2 degrés bien complets, où il s'arrêta. Je vuidai l'eau du col de la bouteille où le thermomètre avoit été plongé, je versai une partie de celle du ventre sphéroïde dans un vase à part, & j'y plongeai le thermomètre qui demeura encore au même point. Ainsi toute l'eau de la bouteille avoit acquis la même température, savoir, 2 degrés de froideur de plus que le milieu ambiant ou le courant d'air dont elle étoit continuellement frappée.

Il est visible que cette expérience revient au même que les deux précédentes. Cette terre poreuse toute imbibée d'eau, & par où il s'en étoit même filtré la valeur d'une petite tasse à café, produit ici absolument le même effet que mon linge mouillé, & d'une manière plus permanente & de plus grand usage. Le peuple de Quanton pratique donc journellement, & mieux, ce que je n'avois trouvé qu'après un long circuit & des spéculations dont vrai-semblablement il ne s'est pas mis en peine. L'idée même du linge mouillé, ou de la paille, ou de telle autre matière, dont on entoure la bouteille, n'est pas nouvelle : on s'en sert sur la côte de Coromandel, & dans plusieurs autres

endroits de l'Inde, pour rafraîchir l'eau, en l'exposant à un certain vent de terre, qu'on assure d'ailleurs être très-chaud, mais qui ne laisse pas de produire ce rafraîchissement. *Le Souray,* dit Bernier, dans son voyage de Cachemire, *est un flacon d'étain plein d'eau, il ne tient ordinairement qu'une pinte. L'eau se rafraîchit très-bien dans ce flacon, pourvû qu'on ait soin de tenir toûjours humectée la pochette* (de toile rouge) *qui l'environne, & que le serviteur qui le tient à la main marche & agite l'air, ou bien qu'on le tienne au vent, comme on fait ordinairement sur trois jolis petits bâtons croisés, pour ne point toucher la terre; car l'humidité du linge, l'agitation de l'air, ou le vent, sont des conditions absolument nécessaires pour que l'eau se rafraîchisse* *.

Il ne me reste donc de tout ceci, que de l'avoir assez naturellement amené à la suite de mes principes.

CHAPITRE IX.

Réflexions sur les expériences & les observations précédentes.

J'EN laisserai la plus grande partie à faire au lecteur, & je remarquerai seulement,

Que la production & l'explication de ce

* *Suite des Mém. du sieur* Bernier *sur l'Empire du grand Mogol, p. 13.*

phénomène dépend en inverſe de ce que nous avons dit *(a)* ſur celui de l'eau qui ne ſe gèle point, quoiqu'expoſée à un air plus froid que celui de la congélation :

Que l'obſervation 5 ci-deſſus *(b)* achève de prouver dans la circonſtance contraire, que l'eau ſe maintient long-temps dans le même état par ſon repos de maſſe, & tandis que le milieu demeure le même, comme il arrive ici aux particules de celle qui ſe trouve engagée dans les interſtices du linge ou des molécules de terre de la bouteille:

Que ces phénomènes d'une eau qui, dans les circonſtances données, ſe maintient ſi long-temps, vû la petiteſſe des maſſes, dans un degré de froideur qui ſurpaſſe ſi ſenſiblement celle du milieu ambiant, fourniſſent une nouvelle preuve du principe intérieur *(c)* que nous avons aſſigné de ſa liquidité, & de ſon mouvement inteſtin :

Que quoique nous ne ſoyons pas en droit d'avancer qu'on pourra ſe procurer de la glace par les moyens indiqués dans le chapitre précédent, il eſt pourtant à préſumer que la choſe n'eſt pas impoſſible dans les circonſtances requiſes & énoncées, ou équivalentes. Une tentative à faire là-deſſus, ſi l'on avoit pluſieurs bouteilles ſemblables à celle de la

(a) Sup. pp. 220 & 246.
(b) Page 252.
(c) Première partie.

3me expérience du chapitre précédent, ſeroit de verſer dans une ſeconde bouteille l'eau déjà refroidie dans la première, & d'opérer ſur cette ſeconde comme ſur la première, ſans attendre néanmoins un ſi long eſpace de temps, ou en ſe procurant un courant d'air plus rapide, d'en faire autant ſur une troiſième bouteille, & ainſi de ſuite, pour voir ſi la froideur de l'eau n'augmenteroit pas toûjours, & ſi la congélation ne s'en enſuivroit pas.

Enfin je propoſerai à cette occaſion & d'après ces principes la conjecture qui ſuit, ſur la congélation des vapeurs dans l'atmoſphère, & ſur la formation de la neige qui en réſulte.

Il eſt clair par tout ce que nous venons de dire dans les chapitres précédens, que les vapeurs ſuſpendues dans l'atmoſphère, dans un air dont elles ſont continuellement frappées, ou, ce qui revient au même, dans lequel elles nagent & ſe meuvent en divers ſens, doivent s'y refroidir de deux ou trois degrés au delà de la température actuelle de cet air, & vrai-ſemblablement beaucoup plus, à raiſon de leur ténuité. Or par les faits poſés, ſi la température ou la froideur de l'air où nagent les vapeurs approche de deux ou trois degrés du terme de la congélation, ne pourront-elles pas s'y geler? Ces vapeurs congelées ne refroidiront-elles pas à leur

tour l'air où elles nagent! Et ne résultera-t-il pas de ce refroidissement moyen & réciproque, sur-tout dans ses commencemens, une masse ou portion considérable de l'atmosphère moins froide qu'au degré de la congélation! En un mot la formation de la neige, qui ne consiste visiblement qu'en de petits filets de vapeur congelés, n'exigeroit-elle pas moins de froid dans l'atmosphère que la formation de la glace ordinaire, en tant que celle-ci se fait sur des masses sensibles d'eau & beaucoup plus grandes! Ces neiges que nous voyons tomber quelquefois en un temps moins froid que celui de la gelée, ou qui semblent en amener l'adoucissement, ne se seroient-elles point formées de cette manière, & en de semblables circonstances! & certaines grêles d'été, dont les grains ne paroissent être aussi que des flocons de neige entassés, & qui en retiennent souvent la rareté & la blancheur vers leur centre, quoique lisses à leur surface, & en partie fondus en traversant la basse région de l'air, ne participeroient-elles pas de cette cause!

SECTION III.

Des phénomènes de la Glace lorsqu'elle est toute formée.

CHAPITRE PREMIER.

Du volume de la Glace.

C'EST, comme nous l'avons dit, la force avec laquelle l'eau tend à se dilater & à augmenter de volume dans le moment de sa congélation & pendant toute sa congélation, qui produit la rupture des vaisseaux où elle étoit renfermée, & tous les autres effets surprenans que nous en avons déduits dans la première Section. Mais quel est enfin ce volume, lorsque la masse d'eau est entièrement glacée, ou dans un bloc quelconque de glace considéré séparément ! Il y aura, sans doute, ici autant de variété que dans la mesure de la force qui produit le phénomène. Car plus ou moins de bulles d'air & plus ou moins grosses qui auront resté dans la glace par rapport à la première cause de son gonflement, une sortie plus ou moins prompte de l'air qui s'en sera échappé en plus grande ou en moindre quantité par rapport à la seconde, des circonstances plus ou moins favorables par rapport à la troisième,

le degré de froid qui a produit la gelée, & la température actuelle de l'eau qui fait le terme de la comparaiſon, ſeront autant de ſources de variété ſur l'effet total & ſur le volume qui en réſulte après la congélation. Il ne ſera donc pas ſurprenant que les expériences varient là-deſſus entre les mains de divers Obſervateurs, ou dans celles d'un ſeul, comme je l'ai moi-même éprouvé: cependant il eſt toûjours utile de ſe faire en pareils cas une ſorte de point fixe autour duquel on puiſſe ranger les variations.

Pour cela j'eus recours à un moyen tout-à-fait ſemblable à celui dont on fait que ſe ſervit Archimède pour découvrir la quantité d'argent qui avoit été frauduleuſement mêlé à la couronne d'or du Roy Hiéron, ſans la fondre ni l'endommager. Je peſai d'abord une pièce de glace à part; je ſuſpendis enſuite au bras de la balance un morceau de fer ou de quelqu'autre métal plongé dans l'eau, pour voir ce qu'il peſoit dans cette eau, & après avoir remarqué quel étoit le poids du glaçon dans l'air, & le poids du fer dans l'eau, je liai enſemble le fer & le glacon avec un petit fil, je les ſuſpendis au bras de la balance, & je les plongeai dans la même eau. Ce que ce total peſa de moins que le morceau de fer dans l'eau, me donna la valeur de la légèreté du morceau de glace par rapport à un pareil volume

d'eau, environ comme 19 à 18, qui eſt le rapport même des volumes de la glace & de l'eau ; les volumes des corps étant en raiſon directe de leurs légèretés, & inverſe de leurs peſanteurs ſpécifiques. L'opération ſera d'autant plus exacte qu'elle aura été faite plus promptement, afin que la glace n'ait pas le temps de fondre dans l'eau, & que la température de cette eau s'éloignera moins du degré de la congélation : précautions que ſans doute je n'avois pas négligées lorſque je fis cette expérience en Languedoc, puiſque je retrouve ſur mes mémoires, qu'ayant peſé de nouveau le morceau de glace dans l'air, il y fut ſenſiblement du même poids qu'auparavant. J'ai répété la même expérience à Paris pendant la forte gelée de 1740, lorſque le thermomètre de M. de Reaumur étoit à près de 10 degrés au deſſous de la congélation, & l'eau où je plongeai la pièce de glace $1\frac{1}{2}$ degré au deſſus. Le volume de la glace excéda celui de l'eau d'environ la 14me partie de celui-ci : ce qui pourroit, ſans doute, aller beaucoup plus loin ſelon M. Boyle, & juſqu'à un 10me, ou un 9me *; mais j'ignore comment & dans quelles circonſtances il l'a vérifié.

Si l'on en croyoit quelques Navigateurs, ou les Auteurs de leurs voyages, il faudroit conclurre que le poids de ces glaçons immenſes qui flottent dans les mers du Nord,

* J. B. du Hamel, *de corpor. affectionibus, p. 126.*

n'eſt que moitié de celui d'un pareil volume d'eau. Car, ajoûtent-ils, en manière de règle connue, *ces eſpèces de montagnes d'une groſſeur étonnante ſont auſſi profondes ſous la ſurface de la mer, qu'élevées au deſſus.* Ils n'auroient pas exagéré, s'ils avoient dit, qu'elles ſont 9 à 10 fois auſſi profondes; puiſque par la règle d'Hydroſtatique, encore plus connue & plus certaine, la partie de tout corps flottant, qui excède la ſurface du liquide, eſt à ſa partie ſubmergée, comme la différence de leurs peſanteurs ſpécifiques eſt à la peſanteur du moins peſant. Ainſi la peſanteur de l'eau de ces mers, & celle de la glace qui y nage, étant ſuppoſées, ſi l'on veut, avec M. Boyle, en raiſon de 10 à 9, la partie de cette glace, qui eſt au deſſus, ne ſauroit être à celle qui eſt au deſſous, que comme 1 eſt à 9. C'eſt-là, dis-je, ce qui s'en enſuit pour toute pièce de glace compriſe entre deux ſurfaces planes & parallèles, comme elles ſont ordinairement: car à l'égard des glaçons qui auroient une autre figure, & qui ſeroient concaves ou convexes, au deſſus ou au deſſous, & irréguliers quelconques, il n'y a plus de règle fixe à y appliquer, quoique la règle générale ſubſiſte toûjours par rapport au total du poids & du volume.

Nous avons remarqué ci-deſſus, que la glace de l'eau purgée d'air dans la machine pneumatique,

pneumatique, pesoit un peu plus que celle de l'eau ordinaire. Par quelques essais que j'en ai faits, la différence du poids de cette glace à celui de l'eau, peut aller à un 22me. Cette différence est donc encore plus grande que celle de l'eau de rivière à l'eau de mer, qu'on évalue à un 48me.

CHAPITRE II.

Si le volume de l'eau glacée ou de la glace continue d'augmenter.

ON peut faire sur le volume de la glace une question qui n'est pas sans fondement; savoir, si ce volume augmente encore après qu'elle est toute formée? nous verrons bien-tôt qu'il diminue par l'évaporation, mais c'est ce dont nous faisons abstraction ici. Et si malgré cette évaporation, & lorsqu'elle ne sauroit avoir lieu, l'augmentation de volume se manifeste par ses effets ordinaires, nous devrons en conclurre qu'elle est bien réelle.

Puisque le froid & la congélation produisent le gonflement de l'eau & de la glace dans ses commencemens, pourquoi la continuation du froid, & presque toûjours un plus grand froid, n'y produiroient-ils pas un plus grand gonflement après qu'elle est toute formée? Il n'y auroit que le

repos de toutes ſes parties entr'elles qui pût s'y oppoſer ; mais voici des faits qui prouvent que ce repos n'eſt qu'apparent.

Le canon de fer employé dans l'expérience de M[rs] Huguens & Buot, dont nous avons parlé ci-deſſus *, ne creva que 12 heures après avoir été rempli d'eau & expoſé à la gelée. On ne marque pas le diamètre de ce canon; mais ſi ce n'étoit, par exemple, qu'un gros canon de mouſquet, comme il y a tout lieu de le croire, & que la gelée fût un peu forte, il ne falloit que quelques minutes, ou une heure tout au plus, pour geler cette eau juſqu'à l'axe du cylindre qu'elle y formoit. Car à compter de cet axe juſqu'à la ſurface cylindrique, il n'y pouvoit guère avoir que 4 ou 5 lignes d'épaiſſeur, & en y comprenant celle du canon, un pouce tout au plus de fer & d'eau à pénétrer par le froid. Or c'eſt ce que fait d'ordinaire une forte gelée en une heure & certainement en deux heures. Pourquoi donc l'expanſion preſque invincible de la glace n'auroit-elle produit la rupture du canon qu'après 12 heures d'intervalle!

Un ſemblable effet arrive plus ou moins tard après l'entière congélation, ſur des matières beaucoup plus caſſantes que le fer, & telles que la terre cuite, le verre & la porcelaine, lorſque les vaiſſeaux qui en ſont

* Page 176.

formés se trouvent être fort épais relativement à leur capacité ou à la quantité d'eau qu'ils contiennent.

Nous avons remarqué en son lieu, que lorsqu'on fait geler de l'eau qui présente une grande surface à l'air froid, & dans des vaisseaux dont les parois peuvent soûtenir une partie de l'effort de la glace, le reste de cet effort s'exerce sur la glace même en la faisant un peu voûter, soit par l'obstacle que les parois du vaisseau opposent à sa dilatation, soit par l'expansion de l'eau & de l'air en bulles, qui sont au dessous de la voûte & où la congélation continue d'agir. Ayant mis les choses en cet état, j'ai percé le vaisseau par-dessous, pour en faire écouler l'eau qui y restoit, je l'ai exposé de nouveau pendant plusieurs heures ou quelques jours à une forte gelée, & j'ai presque toûjours trouvé après cela la voûte de glace plus convexe qu'auparavant. Cette convexité est peu sensible dans l'un & l'autre cas, & il n'est pourtant pas impossible de la vérifier avec assez d'exactitude avant & après, par le moyen d'une règle posée de champ sur les bords du vaisseau, & en prenant la distance de son tranchant inférieur au sommet de la voûte, ou, comme je le suppose ici, au milieu de la superficie de la glace. Or on voit assez que cette augmentation de convexité ne peut être que

l'effet des nouveaux efforts de la glace pour ſe dilater.

Ce qui nous eſt indiqué en petit dans cette expérience, arrive en grand, ſi je ne me trompe, ſur les grandes pièces d'eau, ſur les lacs & ſur les marais glacés, où l'on entend quelquefois un craquement tout ſemblable à celui d'une poutre qui ſe rompt. *Ce craquement eſt produit,* ſelon toute apparence, *par les parties qui ſe détachent, & qui ſe dreſſent de telle manière les unes contre les autres, lorſqu'elles ſont ſoûtenues par les côtés, que la glace ſemble s'élever & ſe rompre en ſe ſéparant, & qu'elle forme quelquefois des crevaſſes qui ſont de la longueur d'une demi-lieue, & même d'une lieue entière* *.

J'ai obſervé bien des fois, & l'habile Obſervateur dont je viens de rapporter les paroles l'a auſſi remarqué, que les bulles d'air qu'on voit dans la glace y augmentoient viſiblement de grandeur par ſucceſſion de temps ; de manière que telle bulle qui ne paroiſſoit être d'abord que d'une ou deux lignes de diamètre y paroîtra augmentée quelques jours après du double, du quadruple, &c. je dis y paroîtra, parce que les réfractions dans la glace, à travers laquelle on la voit, nous empêchent de bien juger de ſa grandeur abſolue; mais ſon augmentation y étant proportionnelle, on ne peut

* Muſſch. *Eſſ. de Phyſ.* p. 443.

douter de sa réalité. Or d'où viendroit-elle cette augmentation! Les parois intérieures de l'espace qu'occupe la bulle ne sauroient se dissiper dans l'intérieur de la glace : il faut donc que la totalité du volume de la glace augmente, que la sphère creuse qui contient cette bulle d'air se dilate, & permette à l'air de se dilater.

Enfin je m'assurai encore plus directement du fait en 1740; car ayant laissé pendant huit jours à la gelée le morceau de glace dont je m'étois servi pour l'expérience du chapitre précédent, & l'ayant appliqué de nouveau à la balance de la même manière & dans une eau de même température, je trouvai son volume relatif augmenté d'environ $\frac{1}{78}$; c'est-à-dire, qu'au lieu qu'il n'étoit auparavant plus léger que l'eau qu'en raison de 14 à 13, il le fut alors en raison à peu près de 12 à 11.

CHAPITRE III.

De la force de la glace par sa résistance à être rompue, brisée ou applatie, & en général de sa consistance.

IL n'a été question jusqu'ici de la force de la glace que par rapport à son expansion & à l'effort qu'elle fait contre tout ce qui s'y oppose. Nous parlerons présentement de

ſa force par la cohéſion & la dureté de ſes parties, & en général de la réſiſtance qu'elle apporte à leur ſéparation, ou à leur déplacement.

En général la glace eſt d'autant plus forte pour réſiſter à ſa rupture, qu'elle eſt plus compacte, qu'elle contient moins d'air, ou que l'eſpèce d'ébullition qui ſurvient à l'eau pendant la congélation a été moins violente. Ainſi la lenteur de la congélation contribue à la force de la glace, en tant qu'elle donne plus de temps à l'air contenu dans l'eau dont elle eſt formée, pour en ſortir.

Je ne prétends cependant parler en cela que de la glace de nos climats où les froids, quelque grands qu'ils nous paroiſſent, ne ſont que médiocres en comparaiſon de ceux des pays du nord près du cercle polaire & au delà. Car la glace pourroit ſe former ſi promptement, & par un froid ſi exceſſif, que l'extrême roideur des amas particuliers des parties propres de l'eau en augmenteroit plus la dureté, que la quantité d'air qui y reſte par la prompte congélation ne la diminueroit. Il en ſeroit alors de cette glace comme de certaines pierres, qui, bien que ruſtiques & poreuſes, ne laiſſent pas d'être beaucoup plus dures que le tuf & que d'autres pierres dont la contexture eſt plus uniforme.

C'eſt-là auſſi à peu près ce qui arrive aux

glaces du nord, selon le témoignage d'un savant Pilote * qui en a fait une exacte description dans le Journal qu'il écrivit en partie pour satisfaire aux curieuses recherches de la Société Royale de Londres. *La différence*, dit-il, *qu'il y a entre la glace de Spitzbergen & celle de notre climat, c'est que la première n'est pas assez unie pour qu'on y puisse glisser. . . . . & qu'elle est beaucoup plus dure, en sorte qu'on a de la peine à la rompre . . . . . & à la fondre . . . . . elle est aussi dure qu'une pierre . . . . . & en même temps aussi spongieuse qu'une pierre-ponce.* Il dit néanmoins que dans les grandes pièces de glace qui se trouvent dans la mer glaciale, c'est la partie inférieure & tournée vers le fond de la mer, qui est la plus spongieuse, que le haut ou la partie supérieure l'est beaucoup moins, & *qu'on la pourroit nommer la substance & la moëlle de la glace.*

La raison de cette diversité n'est pas bien difficile à concevoir; les particules salines étant beaucoup plus pesantes que l'eau, font tendre vers le fond l'eau la plus salée; c'est pourquoi les eaux douces des rivières qui aboutissent à la mer, & même celles des sources qu'il y a souvent au fond de la mer,

* Frédéric Martens de Hambourg, *en 1671*. Journal du Voyage à Spitzbergen, &c. traduit de l'Allemand en François, *ch. III, de la Glace.* Dans le Recueil des Voyages au Nord.

doivent monter ordinairement vers la ſuperficie avant que de ſe mêler parfaitement avec ſes eaux ſalées, qui ſont plus peſantes. Or le ſel étant un obſtacle à la congélation, lorſqu'il eſt mêlé avec l'eau, ainſi que nous le dirons en ſon lieu, il eſt clair que l'eau de la mer, où il y a plus de ſel, doit produire une glace moins compacte & plus ſpongieuſe que celle où il y a moins de ſel. D'ailleurs les glaçons où l'on remarque cette différente conſiſtance ſe trouvent preſque toûjours vers les côtes, ou s'en ſont détachés; car ce n'eſt abſolument qu'auprès des côtes, & juſqu'à une vingtaine de lieues par-delà, que la mer ſe gèle, comme l'ont vérifié les Navigateurs qui ont le plus approché du pole; & c'eſt auſſi auprès des côtes qu'il y doit avoir une plus grande quantité d'eau douce, à cauſe des rivières qui y ont leurs embouchûres.

Les glaces qui ſe trouvent dans les terres en Iſlande ſont ſi dures, qu'il eſt bien difficile de les rompre avec le marteau, & ſi ſèches, que c'étoit autrefois une tradition dans cette Iſle, qu'elles brûloient quand on les mettoit au feu *, de même que du charbon de terre. Pour cette dernière circonſtance, je crois qu'on me diſpenſera d'en chercher l'explication, auſſi-bien que de la

* Adam de Brème, cité dans la Peyrere, *Relation d'Iſlande, art. 49.*

grêle enflammée qu'un Auteur * a écrit qui tomba pendant le grand froid de l'année 1305, & qui causa plusieurs incendies. L'une de ces merveilles pourroit avoir été imaginée d'après quelques concrétions bitumineuses ou nitreuses qui sembloient faire corps avec la glace; l'autre en conséquence de quelque météore ignée qui accompagnoit la grêle. Mais c'est faire trop d'honneur à de pareilles traditions que de leur chercher un fondement.

Pour dire quelque chose de plus précis sur la résistance que la glace apporte à être rompue, je fis geler de l'eau dans un tuyau rond dont l'intérieur avoit quatre lignes de diamètre; je pris ensuite le petit cylindre de glace que je fis sortir en échauffant un peu le tuyau qui le renfermoit; & après l'avoir exposé de nouveau à l'air froid, je l'ajustai sur deux appuis à 6 pouces de distance l'un de l'autre, & je suspendis une corbeille au milieu par un fil, dans laquelle je mis des grains de plomb jusqu'à ce que le cylindre de glace rompît. Je trouvai qu'un peu avant que de rompre il portoit 1 livre 1 once 2 gros. Mais ayant répété plusieurs fois cette expérience, elle varia selon que la glace étoit plus ou moins remplie de bulles d'air, qu'elles y étoient plus ou moins uniformé-

* Krantsius, au rapport de M. Perrault, *Essais de Phys.* tome 4, p. 345.

ment répandues, & ſelon le temps qu'il y avoit que la glace étoit formée. C'étoit dans le Bas-Languedoc: je l'ai faite depuis à Paris en Janvier 1740, le thermomètre étant à plus de 9 degrés au deſſous du terme de la congélation, ſur un cylindre de glace dont la baſe étoit aſſez juſte de 12 lignes ou 1 pouce de diamètre, portant à même diſtance ſur deux appuis, après avoir été expoſé à ce froid pendant vingt-quatre heures. Il ſoûtint 10$\frac{1}{2}$ livres & rompit à la 11[me]: ce qui, toutes réductions faites des baſes de fraction, des centres de gravité de ces baſes, & des points d'extenſion & de compreſſion des fibres, ſelon la théorie de la réſiſtance des ſolides, donne la réſiſtance de la glace un peu plus grande que celle du cylindre de 4 lignes de diamètre. Sur ce même pied, & dans les mêmes circonſtances, un cylindre de glace de 12 pouces de diamètre ſoûtiendroit 1512 livres ſans ſe rompre.

Pour comparer cette réſiſtance avec celle de quelques autres corps connus, par exemple, à celle du marbre, j'ai fait le même eſſai ſur un priſme quadrilatère rectangle de marbre blanc que j'avois, d'environ un pied de longueur & d'un pouce de côté à ſa baſe; & l'ayant mis ſur deux appuis à 10 pouces de diſtance, il a porté par ſon milieu 84 livres, poids de marc, pendant quelques ſecondes avant que de rompre, & il a rompu net à angles

droits environ une ligne à côté de ſon milieu: d'où l'on peut conclurre, après les mêmes réductions dans le détail deſquelles nous n'entrerons point ici, que la réſiſtance de la glace eſt bien inférieure à celle du marbre, & à peu près en raiſon de 1 à 10. Mais, comme je l'ai remarqué, pluſieurs circonſtances peuvent faire beaucoup varier ces expériences à l'égard de la glace, & même à l'égard du marbre, du bois & des autres corps ſolides. Ce qu'on peut auſſi en déduire par rapport à la glace d'après ce que j'en ai dit, & le témoignage de Fréd. Martens ſur les glaces du Spitzberg, c'eſt qu'en général la glace réſiſte d'autant plus à être rompue, qu'elle a été formée par un plus grand froid, ou dans des pays plus froids.

Quant à l'adhérence & à la ténacité de la glace ſur les autres corps ſolides où elle s'eſt attachée, nous avons une expérience de M. Varignon *, de laquelle il réſulte qu'un morceau de glace circulaire, de près de 3 pouces de diamètre, & peſant 3 onces 2 gros, s'étant attaché par ſa baſe à l'appui d'une fenêtre depuis 6 minutes, il ne pût en être détaché par un effort de 16 livres & environ 3 onces, & qu'il fallut y employer le marteau. Mais il manque là, comme on voit, bien des circonſtances, pour en conclurre quelque choſe d'exact.

(b) Hiſt. de l'Acad. des Sc. 1691, *p.* 113.

Lorſqu'on porte les doigts ſur un corps très-froid & très-compacte, tel que du métal, il arrive quelquefois qu'ils s'y attachent, & qu'en voulant les retirer trop promptement, on y laiſſe la peau, ou qu'elle en eſt endommagée. Ce qui eſt facile à comprendre, la partie humide de la tranſpiration, & peut-être un peu de ſueur, s'y congèlent ſubitement, & adhérant en même temps au métal & à la peau, les retiennent attachés l'un contre l'autre. Mais un peu de patience, & la chaleur naturelle de la main, feront bien-tôt évanouir ce danger.

La ténacité des parties qui fait la principale force de réſiſtance de la glace, & en général, des corps qu'on veut rompre, en y ſuſpendant un poids, n'eſt pas la même choſe que ce qu'on appelle leur dureté, quoique l'une de ces qualités ne ſe trouve guère ſans l'autre juſqu'à un certain point, & que les deux puiſſent participer d'une ſemblable cauſe. Une table de marbre peut être plus dure qu'une pareille planche de ſapin, & réſiſter cependant beaucoup moins à la rupture par le choc ou par la compreſſion : en un mot la réſiſtance à la compreſſion, & la réſiſtance au choc, ne ſont nullement proportionnelles en différens corps à leur réſiſtance de divulſion ou de rupture par les poids qu'on y ſuſpend entre deux appuis, ou à une de leurs extrémités, lorſqu'ils ſont

retenus & fixement attachés par l'autre. La dureté des corps, plus directement opposée à la molesse, que la simple ténacité, indique aussi plus particulièrement leur résistance à l'extension, à l'applatissement, & à tout changement de figure ; & cette résistance est ordinairement d'autant plus grande, qu'ils ont plus de disposition à être brisés & pulvérisés, comme on le voit dans la cire, la résine, plus ou moins refroidies, & dans plusieurs autres substances. La force ou la résistance de la glace peut donc être encore considérée dans tous ces sens. Je n'ai garde d'entrer dans un si grand détail; mais voici un fait qui en réunit plusieurs exemples.

Pendant l'hiver de 1740, qui fut très-rigoureux, sur-tout en Russie, où le froid surpassa celui de 1709, & qui l'égala presque dans nos climats, on construisit à Péterſbourg un Palais de glace de 52 ½ pieds de longueur, sur 16 ½ de largeur, & 20 de hauteur, sans que le poids des parties supérieures, & du comble qui étoit aussi de glace, parût endommager le moins du monde le pied de l'édifice. La Neva qui étoit tout proche, & où la glace avoit deux à trois pieds d'épaisseur *, en avoit fourni les matériaux. Les blocs de glace qu'on en

* Comme je l'apprends de M. Sanchez, alors premier Médecin de S. M. I. la Czarine Anne.

tiroit, étoient d'abord taillés avec soin, embellis d'ornemens & posés ensuite, selon toutes les règles de la plus élégante architecture. C'est ce qu'on peut voir dans la description que M. Krafft, alors Professeur de Physique à l'Académie Impériale de Péterſbourg, & aujourd'hui à Tubinge, nous en a donnée *. Mais ce que nous ne devons pas passer sous silence, il y avoit au devant du bâtiment six canons de glace faits sur le tour, avec leurs afuts & leurs roues semblablement de glace, & deux mortiers à bombe, dans les mêmes proportions que ceux de fonte. *Les canons étoient de ceux de 3 livres de poudre de charge*, ce qui répond tout au moins à 6 livres de balle; mais on ne les chargeoit que d'un quarteron de poudre *qu'on mettoit dans l'ame de ces pièces d'artillerie, après quoi on y faisoit couler un boulet d'étoupe, & même quelquefois de fer de fonte. L'épreuve d'un de ces canons fut faite un jour en présence de toute la Cour, & l'ayant chargé comme nous venons de l'expliquer, le boulet perça une planche de deux pouces d'épaisseur à 60 pas d'éloignement.* Il seroit à desirer pour notre sujet, & pour en tirer quelque sorte de comparaison, qu'on eût fait successivement ces canons plus épais, jusqu'à ce qu'ils

* Traduite d'Allemand en François par M. P. L. le Roy, de la même Acad. & imprimée à S[t] Péterſb. en 1741, avec les figures en plusieurs Planches.

euſſent pû ſoûtenir la charge entière de 3 livres. Cependant l'effort d'un quarteron de poudre contre une glace, qui, ſelon les proportions ordinaires, ne pouvoit guère avoir que 3 ou 4 pouces d'épaiſſeur, & qui n'en a point éclaté, ne laiſſe pas de nous indiquer une très-grande force à cet égard.

Un fameux Hiſtorien du nord * parle des murailles de glace, & des autres ouvrages de défenſe, qu'on peut ſe procurer contre les aſſiégeans d'une ville en temps d'hiver, comme d'une pratique uſitée chez les nations ſeptentrionales. Quoique cet Auteur ne ſoit pas toûjours bien délicat ſur la certitude des faits qu'il rapporte, il n'y a rien dans celui-ci que de très-poſſible; le Château de glace de Péterſbourg en eſt la preuve. Des encaiſſemens remplis de glace & d'eau qui ſe lieroient bien vîte enſemble, pourroient fournir en des occaſions preſſantes, dans ces pays où la glace *eſt auſſi dure que la pierre*, & auſſi épaiſſe qu'on veut, une eſpèce de fortification très-prompte & très-ſolide.

* Olaus Magnus, *Hiſt. de Gentib. Septentrion. l. 11; cap. 25, p. 381, édit. Rom. 1555,* De mœniis glacialibus.

CHAPITRE IV.

De la force de la glace pour porter un poids, lorſqu'elle eſt elle-même portée par l'eau.

IL eſt évident que telle planche d'un bois plus léger que l'eau, & qui, n'étant ſoûtenue qu'en l'air par ſes extrémités ſur deux ou pluſieurs appuis, plieroit ou ſe romproit ſous un certain poids, ne pliera pas de même, ou ne rompra pas ſous ce poids étant ſoûtenue par l'eau. Sa partie hors de l'eau ne peut s'y enfoncer qu'en déplaçant une quantité d'eau de même volume, & le poids de cette quantité d'eau eſt préciſément celui que cette planche y peut porter de plus qu'en l'air, ſans s'enfoncer ou ſans ſe rompre, toutes circonſtances d'ailleurs égales. Il en eſt de même de la glace qui flotte ſur l'eau.

C'eſt ſans doute en ce ſens que quelques Auteurs ont déterminé la force de la glace, relativement à ſa conſiſtance dans les pays où ils écrivoient. Ils ont dit, par exemple, de la glace en Suède & en Dannemarc, « Qu'une glace de 2 doigts d'épaiſſeur pouvoit porter un homme, & lui permettre » de marcher deſſus; de 3 doigts, un Ca» valier armé; d'une paume & demi, ou

de 4 à 5 pouces, une troupe; & de 3 « ou 4 paumes, une armée *(a).* »

Dans la grande gelée de 1683, *la Société Royale ayant fait mesurer l'épaisseur de la glace de la Tamise, quand on alloit dessus en carrosse, elle ne se trouva que de 11 pouces (b).*

Mais toutes ces règles & tous ces exemples sont équivoques, & seroient souvent très-dangereux à suivre, si l'on n'y apportoit pas un certain examen.

Quand la pièce de glace n'étant pas bien étendue trouve un appui solide à ses extrémités, quand elle tient, par exemple, aux bords d'une rivière, elle doit soûtenir des poids d'autant plus grands, qu'elle arcboute presque toûjours sur ces appuis, qu'elle s'enfle vers son milieu & y devient convexe, par l'effort continuel qu'elle fait pour se dilater. Mais il n'en est pas de même d'une glace fort étendue, qui flotte, par exemple, sur la mer, ou qui peut s'y trouver rompue ou fêlée en plusieurs endroits, par l'effort, & par les secousses réitérées de l'eau qui est au dessous, selon que cet effort ou que ces secousses s'y communiquent par les vagues d'alentour, ou par les mouvemens du flux & du reflux. Ces pièces de glace isolées, séparées du total, ou moins

(a) Ol. Magnus, *ubi sup. l. 1, cap. 27,* adopté par Ge. Alb. Hamberger, *Hist. Frigoris, Phæn. 78.*

(b) Hist. de l'Acad. 1709, *p. 10.*

liées entr'elles à cauſe des fentes qui en interrompent la continuité, ne peuvent alors ſoûtenir les poids dont elles ſont chargées, que par l'excès de leur légèreté ou de leur volume par rapport à l'eau qui les ſoûtient, quelle que ſoit d'ailleurs leur épaiſſeur, & leur réſiſtance à la rupture.

Je crois qu'en général de la glace d'un pied d'épaiſſeur, indéfiniment étendue & ſans fêlure, porteroit une armée; comme on le peut juger par l'exemple de la Tamiſe; tandis qu'un glaçon flottant de la même épaiſſeur & de 70 toiſes quarrées ou 2520 pieds quarrés de ſurface, ne ſoûtiendroit pas 100 hommes, peſant chacun 160 livres & en tout 16000 livres; quoiqu'ils y fuſſent diſtribués de la manière la plus avantageuſe, & que chacun y pût occuper plus de 25 pieds quarrés. La pièce de glace s'enfonceroit infailliblement ſous eux, ſon volume étant ſuppoſé être à celui de l'eau en raiſon de 12 à 11 *.

C'eſt, dis-je, à cette circonſtance de la continuité, ou de la non continuité de la

* Car en ce cas la partie excédante de la glace ſur l'eau ne ſeroit que de 1 pouce. Or on trouvera que 1 pouce d'épaiſſeur ſur 70 toiſes quarrées ou 2520 pieds quarrés ne donne que 210 pieds cubes. Le pied cube d'eau de mer pèſe ordinairement 72 livres, qui étant multipliées par 210 ne font en tout que 15120 livres, & ce poids eſt inférieur de 880 livres à celui des 100 hommes.

glace, qu'il faut principalement faire attention. Ce n'est guère par l'épaisseur qu'elle manque, dans les pays & dans les occasions où l'on entreprend de ces expéditions périlleuses. Il est du moins fort aisé de s'assurer de cette épaisseur. Lorsque le Roy de Suède, Charles Gustave, passa avec toute son armée & son artillerie, de Fionie en Zélande *, sur les glaces du détroit de la mer Baltique qui sépare ces deux isles, & qui peut avoir 5 à 6 lieues de largeur, on avoit soigneusement sondé ces glaces; l'épaisseur en avoit été trouvée plus que suffisante pour soûtenir un tel poids sans se rompre, & elles le soûtinrent en effet du côté de sa droite; mais il y a toute apparence qu'elles étoient déjà rompues ou fêlées vers sa gauche, & que les glaçons n'en avoient pas l'étendue nécessaire pour déplacer par leur partie excédante sur l'eau le volume de liquide qui devoit faire équilibre aux poids, ou surmonter même ces poids. Et c'est-là aussi que périrent une centaine de Cavaliers de son armée.

* En 1658. Voy. Sam. Lib. Bar. de Pufendorf, *De Rebus à Car. Gust. Sueciæ R. gestis*, *l.* 5.

CHAPITRE V.

De la froideur de la Glace.

AVEC l'idée que le mot de glace réveille dans l'eſprit, comme de tout ce qu'il y a de plus froid dans la Nature, auroit-on cru qu'il y pouvoit avoir de l'eau non glacée de 4 à 5, de 7 à 8 degrés plus froide, & apparemment de beaucoup plus, par rapport à la glace qui va s'en former? C'eſt cependant ce qu'on a vû dans la Section précédente.

La glace dans ſa formation ſemble donc exiger un certain degré de froid qui lui eſt propre, & qui ſurvient à l'eau dans le moment de trouble que nous y avons remarqué, en décrivant ſes commencemens, & l'exiger de manière, que ſi l'eau ſe trouve alors plus froide, elle doit diminuer de froideur dans l'inſtant de ſa transformation en glace. En un mot, la glace qui commence à fondre, & l'eau qui commence à geler ont le même degré de froideur. C'eſt ce que pluſieurs Phyſiciens modernes ont parfaitement conſtaté, & en différens pays. Le terme de la congélation de l'eau eſt devenu un point fixe & de comparaiſon ſoigneuſement marqué ſur la graduation de la plûpart des thermomètres qu'on a faits dans ce ſiècle-ci.

On ne peut douter cependant, que la glace, ainſi que les autres ſolides, n'acquière dans un milieu plus froid, ou par le contact des autres corps plus froids, à peu près le même degré de froideur qu'ont actuellement ceux-ci. Car ſans compter ce que nous avons rapporté des glaces du Groenland & du Spitzberg, qui paroît ſuppoſer un très-grand refroidiſſement, on ne peut douter que de la glace entourée du mélange de ſel & de glace, dont il ſera parlé dans la cinquième Section, n'en reçût un degré de froid très-ſupérieur à celui de ſa froideur initiale. Je ne prétends pas que tous les corps prennent également, ni en temps égal, le degré de froideur ou de chaleur du milieu ou des autres corps qui les touchent. Il y a ſans doute bien de la différence, ſur-tout dans les fluides, & cela dans les uns & dans les autres, à raiſon de leur denſité, de la contexture de leurs parties, & de la manière dont le fluide éthéré y circule. La glace pourroit donc bien à cet égard être ſuſceptible de plus & de moins, par rapport aux corps qui l'environnent; mais je dis, qu'en qualité de ſolide dont les parties ſont ſenſiblement en repos entr'elles, la glace prend bien-tôt à raiſon de ſa maſſe la température de ceux-ci, & qu'en général ces différences diſparoiſſent par ſucceſſion de temps & par la continuité du contact.

Quant à la vérification & à la mesure exacte de la froideur de la glace dans ses différens états, il ne faut point l'espérer jusqu'à ce qu'on ait trouvé un thermomètre propre à mesurer exactement la température des solides, sans les fondre ni les pulvériser; car il est difficile, du moins dans nos climats, de briser & pulvériser la glace, sans qu'elle ne commence à fondre. J'ai quelquefois appliqué à la superficie de la glace, un thermomètre plat par son fond ou par un des côtés de la boule, & tout ce que j'en ai retiré de plus sûr, c'est que la glace augmente assez uniformément de froideur pendant que la gelée dure dans les mêmes circonstances & jusqu'au dégel exclusivement. Mais je ne saurois encore me fier beaucoup à cette application imparfaite, & qui ne peut l'être également en différens cas.

La froideur de la glace & la congélation ne gagnent point aussi avant dans les terres qu'on pourroit se l'imaginer. En France, en Allemagne, & dans la plûpart des pays situés au milieu de l'Europe, la glace pendant les plus grandes gelées, ne pénètre guère à plus de 2 pieds de profondeur; en Moscovie & dans les pays septentrionaux, en deçà du cercle polaire, elle va à 6, & jusqu'à 10 pieds *, selon la nature

* Ge. Alb. Hamberger, *Hist. Frigoris*, *Phæn.* 76.

du terrein : au delà du cercle polaire j'ignore qu'on en ait fixé les bornes. Mais la communication de la froideur de la glace à l'air & à l'atmosphère est beaucoup plus prompte, & s'étend apparemment beaucoup loin. Ceux qui voyagent dans les mers du nord sont bien-tôt avertis par-là de l'approche des grands glaçons qu'on y trouve, même au milieu de l'été ; *la température de l'air change dans l'instant, & de chaud qu'il étoit devient extrêmement froid (a).* Cet avertissement ne leur est pas inutile.

CHAPITRE VI.

Du goût de la Glace.

JE ne trouve ni par mon goût, ni par aucune expérience certaine, que la congélation fasse rien perdre à l'eau, ni qu'elle y ajoûte quelque chose : je veux dire, que l'eau me paroît avoir le même goût après avoir été gelée, qu'elle avoit avant que de se geler. Il y a cependant des Physiciens *(b)*

(a) Voyage de la Baie de Hudson, *tome 2, p. 33.*

(b) Athan. Kircher, *Mund. Subterr. lib. 3, Sect. 3, cap. 4, tom. 1, p. 166.* Borrichius, dans les observations qu'il a faites en Dannemarc, *Act. Hafniens. vol. 1. observ. 64, p. 144.* Thom. Bartholin, *de Nivis usu medico, cap. 6, p. 42.*

qui ont cru que l'eau de la mer devenoit douce en se gelant, & qui, sans trop s'embarrasser de la certitude du phénomène, ne se sont appliqués qu'à en chercher la cause. Mais ce n'est rien moins qu'une erreur de fait. Ils n'avoient apparemment goûté que de la partie extérieure des glaces, ou de quelques glaces minces qui s'étoient formées auprès des côtes; car il est vrai que celles-là ont le même goût que la glace des rivières. Et cela n'est pas étonnant, puisque les rivières qui se rendent à la mer fournissent une grande quantité d'eau douce auprès des côtes, laquelle par sa légèreté, surnage quelquefois assez long-temps & assez loin sur l'eau salée, avant que de se charger des mêmes sels. Si ces Auteurs avoient pris de la partie de ces glaces qui est sous l'eau, & du dessous de ces glaçons épais, qui flottent dans les mers du Groenland & de la nouvelle Zemble, ils auroient trouvé que *la glace en étoit aussi salée que la mer même* *. C'est ce qu'on peut éprouver par-tout, en faisant geler artificiellement de l'eau salée, ou de l'eau de mer qu'on aura prise loin des côtes. Il arrive seulement pour l'ordinaire que la superficie ou les parties extérieures d'un pareil glaçon sont

* Frédér. Martens, *ubi sup.* & Supplément aux Voyages du Capitaine Wood & de Frédér. Martens; traduit de l'Anglois, *p. 297* du Recueil, tome 2.

peu

peu ſalées ou tout-à-fait douces, par cette cauſe, & par la ſécrétion qui ſe fait alors de l'eau douce & de l'eau ſalée, comme nous l'avons remarqué des parties ſpiritueuſes du vin expoſé au grand froid. Auſſi trouve-t-on ſouvent ſur ces immenſes glaçons qui flottent dans les mers du nord, pendant l'été, des eſpèces de lacs d'eau douce, qui ſe gèlent & ſe dégèlent quelquefois alternativement ſelon la température des jours & des nuits *, & dont les navigateurs ne manquent pas de profiter, pour rafraîchir leurs équipages & remplir leurs tonneaux vuides.

J'ai vû au contraire des perſonnes qui penſoient que la glace étoit moins douce que l'eau dont elle avoit été formée, en vertu, diſoit-on, de je ne ſais quelles parties *frigorifiques* & ſalines qui s'introduiſent dans l'eau pendant ſa congélation ou qui l'occaſionnent, & qui en ſortent dès qu'elle redevient liquide. Autre illuſion, dont la cauſe n'eſt pas difficile à imaginer, le piquant de la glace, ou de l'eau très-froide étant viſiblement l'effet de la contraction ſubite qu'elle produit ſur les fibres de la langue & du palais. Il en eſt de même de la ſenſation de chaleur ou de brûlure, qu'excite un morceau de glace qu'on ſoûtient quelque temps ſur la paume de la main:

* Voyage de la Baie de Hudſon, *tome 2, p. 35.*

le resserrement & la crispation d'un nombre de fibres & de nerfs y produit sur les fibres voisines & tout alentour un tiraillement qui tend à les diviser ou à les rompre, comme feroit à peu près un instrument tranchant, ou le feu. Le sentiment qui en résulte n'en diffère pas beaucoup, & un aveugle pourroit s'y tromper.

C'est à ce resserrement de parties, & aux effets qu'il doit produire sur toute l'économie animale, plûtôt qu'à aucune vertu interne de la glace, différente de celles de l'eau ordinaire, que j'attribuerois les guérisons merveilleuses que la glace opéroit entre les mains du Capucin de Malthe ; car il en frottoit quelquefois tout le corps de ses malades. On en peut voir les suites & le détail dans le second volume des *Vertus médicinales de l'eau commune ;* édition de Paris, 1730.

A l'égard des liqueurs spiritueuses & odorantes moins homogènes dans leur composition que l'eau, je ne doute pas que la congélation ne puisse causer de grands changemens à leur goût, à leur odeur, à leur fluidité même & à leurs autres qualités sensibles, en désunissant ou en assemblant des parties hétérogènes qui étoient auparavant unies ou séparées, & en altérant ainsi toute leur contexture. M. Geoffroy a observé que l'eau de fleur d'orange qui sent l'empyreume perd

cette odeur par la gelée, & en prend une très-agréable *.

CHAPITRE VII.

De la transparence & de la couleur de la Glace.

LA glace est ordinairement moins transparente & plus blancheâtre que l'eau dont elle est formée. Ces deux qualités viennent vrai-semblablement du même principe, savoir, du dérangement des parties dont il a été parlé ci-dessus, & des bulles d'air enfermées dans la glace. Lorsqu'on regarde certains glaçons avec un microscope, on y voit, outre les petites bulles d'air, une infinité de fêlures & d'éclats qui réfléchissent diversement la lumière, selon la situation où ils se trouvent. Ce sont ces réflexions de la lumière, causées par une prodigieuse quantité de surfaces & de petites lames d'eau glacée, différemment inclinées, qui produisent la blancheur de la neige. Aussi fait-on de la neige artificielle par le moyen d'une eau long-temps agitée & réduite en écume dans quelque tube de verre ou dans une bouteille oblongue qu'on expose sur le champ à la gelée.

C'est par la même raison que le verre pilé

* Hist de l'Acad. 1713, p. 39.

devient une poudre blanche, qui n'eſt plus tranſparente à la vûe ſimple, quoiqu'avec le microſcope ou dans l'eau chaque particule de neige ou de verre ne diffère en rien de la glace ou du verre ordinaire. Il en eſt encore de même à peu près du marbre noir réduit en poudre, & de la plûpart des autres corps. Car ſelon la penſée d'Iſ. Voſſius *(a)*, & comme l'a plus particulièrement montré M. Newton *(b)*, les petites parties de tous les corps ſont naturellement tranſparentes, & leur opacité ne vient que de la multitude des réflexions de ces parties. C'eſt pourquoi la glace de l'eau qui a été purgée d'air, & qu'on a fait bouillir & geler alternativement deux ou trois fois, eſt plus tranſparente & d'une couleur plus foncée.

Par une ſemblable raiſon la partie extérieure de la glace eſt preſque toûjours moins tranſparente, plus blancheâtre & plus terne que le dedans. Car outre que pendant la congélation, les bulles d'air qui s'échappent de l'eau vers ſa ſuperficie y produiſent mille petites inégalités, cette ſuperficie n'eſt pas plûtôt gelée, que l'effort continuel des particules inſenſibles de glace, pour s'incliner les unes aux autres ſous l'angle de 60 degrés, comme il a été remarqué ci-deſſus *(c)*, s'y

(a) *De naturâ & propr. Lucis*, ch. 23.

(b) *Opt.* lib. 2, part. 3, Prop. 2.

(c) Sect. I, Chap. VIII.

exerce beaucoup plus aiſément que dans l'intérieur. Elles ſe redreſſent ou s'évaporent, ce qui fait autant de petits vuides & de nouvelles ſurfaces différemment poſées, d'où la lumière ſe réfléchit diverſement. Ainſi pour bien voir la tranſparence de la glace, il faut en enlever cette croûte de ſa ſurface & de ſes fractures, & la faire un peu fondre dans de l'eau moins froide, ou attendre qu'elle ſoit fondue dans un air moins froid. Et voilà pourquoi les glaçons fondus en partie qui nagent dans un ſceau où l'on fait rafraîchir des liqueurs, y ont un ſi beau poli & tant de tranſparence, quoiqu'ils fuſſent tout ternes & tout blancheâtres lorſqu'ils y avoient été apportés. On ſe convaincra encore aiſément de ce que je viens de dire, ſi l'on compare la ſuperficie de la glace nouvellement formée avec celle d'une glace de pluſieurs heures ou de quelques jours, ou ſimplement la ſuperficie de celle-ci avec la ſuperficie de ſes caſſures. Plus il y aura de temps qu'elle eſt formée, plus ſa ſurface aura eu celui de ſe hériſſer de particules qui s'y redreſſent, & qui en diminuent ſa tranſparence.

Les glaces du Groenland & de la plûpart des mers du nord, ſont fort différentes des nôtres, & par la couleur, & par le moins de tranſparence. Elles * *ſont d'un très-beau*

* Fréd. Martens, *ubi ſup.*

bleu, un peu tirant ſur le verd, ſemblable à la couleur du vitriol de Chypre, & ſeulement *un peu plus tranſparentes que le vitriol, & moins nettes que la glace de notre climat, à travers laquelle on peut preſque voir.* Que ce ſoit d'imagination ou par ouï-dire, Virgile ne nous peint pas autrement les glaces du nord & les zones polaires;

Cæruleâ Glacie concretæ atque imbribus atris *.

Cette différence des glaces du Groenland avec les nôtres n'eſt peut-être qu'apparente, & pourroit bien venir en partie de la condenſation & de l'épaiſſeur de l'air du climat: car l'air étant bleu de ſa nature, comme on le juge par la couleur du ciel & par la teinte que prennent les objets fort éloignés, il eſt évident que plus on verra de parties d'air ſous un égal volume, plus ſa couleur naturelle deviendra ſenſible. Or une atmoſphère d'un bleu plus foncé qui ſe réfléchit ſur les glaces des mers, ou à travers laquelle ſe filtrent des rayons de lumière plus bleuâtres, doit les charger d'autant plus de cette couleur. Mais je doute que cette raiſon ſoit ſuffiſante pour expliquer ce bleu de vitriol & verdâtre dont parle notre Voyageur. Si ce qu'il en dit eſt exact, comme il y a lieu de le croire, il faut avoir recours, ce me ſemble, à quelque choſe de plus prochain &

* Georg. *lib. 1.*

de plus réel, comme, par exemple, à la qualité du fond du bassin de ces mers, & des matières qui s'en détachent & qui se mêlent avec leurs eaux, ou enfin à la couleur propre de ces eaux mêmes. Sur quoi nous n'avons rien d'assez positif pour pousser plus loin nos conjectures. Indépendamment de tout cela, la glace des liqueurs salées est plus foncée & plus opaque que celle d'eau pure. Or nous avons vû dans le chapitre précédent, que la glace de ces mers étoit *salée comme la mer même.*

Les glaces des mers du nord ont encore ceci de particulier, que lorsque le temps est pluvieux *, le bleu de la partie supérieure qui est exposée à l'air devient plus pâle, & que vûes de dessous l'eau elles paroissent vertes.

L'eau douce étant moins bleuâtre, & en même temps plus légère que l'eau salée de la mer, il doit souvent arriver, sur-tout près des côtes où aboutissent les rivières, que la partie supérieure des glaces soit moins colorée que l'inférieure. Le dessus du glaçon doit aussi moins participer de la couleur du dessous, lorsque le temps est sombre, & que le peu de lumière qui est répandu dans l'eau & dans l'air en favorise moins la réfraction.

Mais d'où vient la couleur verdâtre de la partie qui est sous l'eau? Elle peut dépendre de bien des circonstances. L'eau de

* Fréd. Martens, *ubi sup.*

la mer, comme la teinture du bois néphrétique & plusieurs autres liquides, réfléchit quelquefois des rayons de lumière d'une couleur, & en rompt ou en laisse passer d'autres d'une couleur différente. Cette propriété de réfléchir certains rayons & de donner passage à d'autres n'est pas particulière aux liquides, elle se trouve en quelques corps durs; l'or même, le plus dense & le plus pesant de tous les métaux, qui ne réfléchit que les rayons de couleur jaune, en laisse passer au travers de ses pores de bleus & de verds, comme on l'éprouve lorsqu'après l'avoir réduit en feuilles très-minces on le place entre l'œil & la lumière *(a)*. De même l'eau de la mer qui réfléchit d'ordinaire par sa superficie la couleur bleue, rompt & réfléchit souvent dans l'intérieur la couleur verte, & nous avons là-dessus une expérience curieuse qu'on trouve rapportée dans l'Optique de M. Newton *(b)*. *M. Halley*, dit-il, *étant descendu au fond de la mer dans une cloche en un temps fort clair & fort serein, remarqua que les rayons du Soleil qui passoient par une petite fenêtre vitrée de la cloche, & qui donnoient sur une de ses mains, après avoir traversé plusieurs piques d'eau qu'il avoit sur la tête, lui faisoient paroître la partie supérieure de la main d'un rouge couleur de rose, pendant*

(a) Newton, *Opt. part. II, Prop. X.*
(b) Ibid.

que le côté opposé, ou la partie inférieure, paroissoit teinte de verd par la lumière que les eaux de dessous y réfléchissoient.

Peut-être n'en faudroit-il pas davantage pour expliquer la couleur verte du dessous des glaces du nord vû à travers l'eau ; mais les Auteurs de qui nous tenons ce fait *, y ajoûtent cette circonstance, que les glaces paroissent telles dans les temps pluvieux ; & aussi qu'il y a des temps où les eaux de ces mers paroissent jaunes à ceux qui s'y plongent. Or la glace étant bleue, elle doit paroître verte à ceux qui la regardent au travers d'une eau jaune ; puisque, comme on sait, le bleu & le jaune mêlés ensemble produisent du verd.

Mais cette variété de couleurs des glaces du nord n'est rien en comparaison de celle qu'on aperçoit lorsqu'on approche des côtes du Groenland & de la nouvelle Zemble, & qu'on jette les yeux sur les montagnes voisines couvertes de neige & de glace. La gelée & le dégel à quoi ces montagnes sont alternativement exposées dans la saison où l'on voyage dans ces pays-là, c'est-à-dire, dans l'été, la fonte des glaces & les pluies y ont creusé des ravins qui paroissent comme des bandes noires cousues depuis leur sommet jusqu'à leur pied ; à côté se trouvent souvent de grandes traînées d'une neige qui n'a point

* Les mêmes que ci-dessus, *Recueil des voyages au Nord.*

fondu, & dont la blancheur eſt relevée par ce noir ; tout auprès, des glaces minces & claires ne laiſſent voir que le verd des buiſſons qu'elles couvrent ; dans un enfoncement elles ſont bleues, parce qu'elles ſont plus épaiſſes ; un peu plus loin réduites en pouſſière & répandues ſur les feuilles des arbuſtes, elles rompent & réfléchiſſent des rayons de lumière avec toutes les nuances de l'arc-en-ciel ; ou quelquefois auſſi polies que des miroirs, elles renvoient à l'œil autant d'images d'un Soleil languiſſant qui ne quitte point l'horizon, & fourniſſent par-là l'explication la plus ſenſible qu'on puiſſe donner de nos Parhélies *(a)*.

CHAPITRE VIII.

De la réfraction de la Glace.

IL eſt difficile de ſavoir la véritable réfraction de la glace ordinaire, parce que les groſſes bulles d'air qui s'y trouvent mêlées en grande quantité empêchent de voir au travers ; mais on a obſervé *(b)* que la glace, lorſqu'elle n'a pas beaucoup de ces groſſes bulles, & qu'elle eſt aſſez tranſparente pour

(a) C'eſt ce coup d'œil qu'on a voulu repréſenter dans la planche du frontiſpice de ce livre.

(b) M. de la Hire, *Mém. de l'Acad. 1693, Tome X, p. 252.*

en faire l'expérience, donne une réfraction un peu moindre que celle de l'eau dont elle est formée; c'est-à-dire, que si un rayon de lumière qui tombe très-obliquement de l'air sur l'eau, se détourne de sa surface & vers la perpendiculaire d'une quantité ou d'un angle de 41 degrés 25 minutes, qui est la mesure de la réfraction ordinaire de l'eau, un rayon qui tombera pareillement sur la glace, ne se détournera pas tout-à-fait tant, ou ne s'approchera de la perpendiculaire que d'un angle, par exemple, de 39 ou 40 degrés.

Ce phénomène est tout-à-fait conforme à la théorie générale des réfractions : car il paroît par un grand nombre d'expériences très-exactes, que presque tous les corps donnent une réfraction proportionnée à leur pesanteur; & cela est si vrai à l'égard de l'eau, que la même eau ne donne pas toûjours la même réfraction; chaude, elle en donne moins que froide, parce qu'alors elle est moins pesante à proportion de son volume. Or après ce qui a été prouvé de la légèreté de la glace, ou de son volume par rapport à l'eau dont elle est formée, il est clair qu'elle doit donner une réfraction moindre que celle de l'eau.

La quantité de la réfraction de la glace prise en un autre sens, c'est-à-dire, en tant qu'elle laisse passer plus ou moins de rayons rompus, est proportionnelle à sa trans-

parence. Ainſi lorſqu'on lui a donné la figure ſphérique, par exemple, au moyen de quelque vaiſſeau concave où elle a été formée, & qu'on en a poli la ſuperficie en y jetant deſſus un peu d'eau tiède, elle raſſemble les rayons du Soleil preſque en auſſi grande quantité, & brûle avec preſque autant de force que les meilleures loupes de verre. J'en ai fait l'expérience avec de la glace d'une eau que j'avois fait bouillir & geler alternativement deux ou trois fois pour en mieux évacuer l'air; & l'ayant réduite en une lentille convexe des deux côtés, dont le diſque avoit 4 pouces de diamètre, & faiſoit partie d'une ſphère de $3\frac{1}{2}$ pouces de rayon, j'en ai allumé de la poudre à canon au Soleil du mois de Janvier.

Cette expérience, qui eſt fort connue aujourd'hui, ne pourroit paroître merveilleuſe par l'oppoſition de la glace & du feu, qu'à ceux qui ne feroient point attention que ce n'eſt nullement la qualité de la matière, en tant que plus ou moins chaude ou froide, qui augmente ou qui diminue la force des rayons ſolaires qu'elle laiſſe paſſer à travers pour brûler les corps combuſtibles; mais ſeulement ſa forme extérieure, plus ou moins propre à raſſembler ces rayons. C'eſt ainſi que les plantes ſont quelquefois brûlées par l'eau même, & que leurs feuilles picotées de points noirs en indiquent la brûlure, lorſ-

qu'après la gelée ou un brouillard épais le Soleil vient à donner obliquement sur les gouttes sphériques dont elles demeurent couvertes: car ce sont autant de petits miroirs ardens par réfraction, dont le foyer n'étant qu'à une très-petite distance de leur surface *(a)*, ne peut manquer de porter en plusieurs endroits assez précisément sur la plante pour l'y brûler.

CHAPITRE IX.

Des figures de la Glace, & de la Palingénésie.

L'EAU prend d'ordinaire en se glaçant la figure du vaisseau où elle est contenue; mais il se trouve quelquefois dans les rivières & dans les mers des glaçons façonnés d'une manière très-singulière, & qui approchent beaucoup de certains ouvrages de l'art. Il seroit, je crois, inutile d'en rechercher la cause; elle dépend presque toûjours d'un enchaînement de circonstances qu'on ignore, & qu'il n'est pas possible de déterminer positivement, quoiqu'on les puisse conjecturer en général. L'habile & exact Navigateur *(b)* que j'ai cité plusieurs fois dans cet ouvrage

(a) Au $\frac{1}{4}$ à peu près de leur diamètre.
(b) Fréd. Martens, *ubi sup.*

dit avoir vû en ce genre dans la mer glaciale *un petit chef-d'œuvre d'architecture ; c'étoit une pièce de glace qui ressembloit à une église .... il y avoit des piliers, des fenêtres en voûte & des portes régulières ; mais les portes & les fenêtres paroissoient comme remplies de chandelles de glace, & dedans on y voyoit un fort beau bleu. Cette pièce de glace étoit plus grande qu'un vaisseau, & un peu plus haute que la poupe.* Il remarqua aussi vers le Spitzberg *de la glace qui étoit toute en boucle, & qui ressembloit tout-à-fait à du sucre candi*, & plusieurs autres figures semblables, dont la principale cause ne vient, à mon avis, que des filets d'eau douce qui ne sont pas encore bien mêlés avec l'eau de la mer, qui se gèlent les premiers, & qui sont les derniers à se fondre.

Outre ces sortes de figures, il y en a d'autres qui paroissent légèrement ciselées sur la superficie de la glace, ou comme les premiers traits d'un dessein dont j'ai fait le détail & expliqué la génération dans la première Section. J'y reviens à présent pour dire un mot de l'erreur où ces figures ont jeté quelques personnes qui n'ont pas fait attention à la cause qui les pouvoit produire.

Il y a eu des Chymistes qui ont cru qu'en échauffant un peu les cendres d'une plante ou d'un animal selon certaines règles & avec certaines précautions, ces cendres devoient s'enfler & s'élever en une fumée tout-à-fait

ſemblable par la figure & même par la couleur à la plante ou à l'animal. C'eſt à cette eſpèce de réſurrection ou de nouvelle naiſſance qu'on donna d'abord le nom de *Palingénéſie :* enſuite on ſe perſuada qu'en faiſant geler une leſſive des cendres d'une plante on verroit la figure, l'image, ou, comme parlent ces Auteurs, *l'idée* de cette plante fidèlement tracée ſur la ſuperficie de la glace ; autre palingénéſie qui n'a pas moins fait de bruit que la première.

Le fameux Boyle rapporte qu'ayant fait diſſoudre dans l'eau un peu de verd-de-gris, qui contient beaucoup de parties ſalines du marc de raiſin, dont on ſe ſert pour corroder le cuivre, & ayant fait geler cette eau avec de la neige & du ſel, il avoit vû, non ſans étonnement, de petites figures de vigne ſur la ſuperficie de la glace.

Le Chevalier Digby dit qu'ayant fait une pareille épreuve ſur de la leſſive de cendres d'orties, & conformément aux inſtructions du P. Kircher *(a)*, il paroiſſoit ſur la glace quantité de figures d'orties. J'omets cent autres hiſtoires de cette nature, dont on peut voir le détail dans un Auteur plus moderne *(b)*

(a) On trouve ce qu'en a penſé cet Auteur dans ſon *Mundus Subterraneus, lib. 12. Sect. 4, cap. 5.*

(b) Curioſités de la Nature & de l'Art ſur la végétation, l'agriculture, &c. *nouv. édit. Paris, 1711,* par M. de Vallemont

qui a pris fort à cœur la défenſe de la palingénéſie, & de qui j'emprunte ces deux témoignages, comme les plus authentiques de tous ceux qu'il rapporte pour l'établir.

Les noms de Mrs Boyle & Digby m'obligent à ajoûter ici deux ou trois réflexions ſur cette matière; car du reſte je ne penſe pas qu'il y ait beaucoup de témérité à ſoupçonner que la première formation de la glace, telle que je l'ai expliquée, & ſans aucun rapport à la palingénéſie, ait été l'unique ſource de tout ce qu'on en raconte de merveilleux. J'obſerve donc,

1.° Que les figures de la ſuperficie de la glace ſont & plus fréquentes & plus viſibles, lorſque l'eau n'eſt pas pure, & ſur-tout lorſqu'on y a diſſous quelque ſel, tel que celui qui eſt contenu dans les cendres des plantes. Preſque toutes les leſſives, l'urine, du limon ſeulement, & en général tout ce qui étant mêlé avec l'eau retarde ſa congélation, produit ordinairement des figures bizarres & ſingulières. Dans quelques-unes de mes expériences, où il ne s'agiſſoit nullement du ſel des plantes, le haſard m'a fait rencontrer des figures qui auroient enchanté les partiſans de la palingénéſie.

2.° Les végétations métalliques ſi connues dans la Chymie, produiſent quelquefois en relief des figures auſſi parfaites en leur genre qu'aucune de celles qu'on ait vûes ſur la

glace. Ce qu'on appelle *l'Arbre de Diane* ou *l'Arbre Philosophique* est, comme on sait, un argent amalgamé qui s'élève dans une bouteille en forme de petit arbrisseau avec ses feuilles & ses fruits; on fait quelque chose de semblable avec du fer & avec plusieurs autres matières que le hasard a fournies plusieurs fois aux Chymistes *. Je ne crois pas cependant que personne pense que l'argent & le fer, ou ces autres matières, prennent ces figures, pour avoir été autrefois ces mêmes arbres qu'ils représentent.

3.° Enfin la plûpart des Auteurs qui disent avoir fait l'expérience de la Palingénésie, & sur-tout les Auteurs que j'ai nommés, n'ont pû de leur aveu la rencontrer qu'une fois après bien des tentatives inutiles; &, ce qui est à remarquer, ni la même lessive, ni une lessive nouvellement préparée, ne leur ont redonné le même phénomène. Aussi ont-ils plûtôt regardé ce qu'ils en avoient vû comme un effet du hasard, que comme une suite nécessaire de la prétendue inclination à se rejoindre, attribuée aux parties organiques des corps après leur désunion; & je me trompe fort, si ce n'est-là ce que vouloit dire le Chevalier Digby, d'ailleurs assez enclin & assez intéressé à soûtenir les effets

* Voy. Mém. de l'Acad. 1692, *T. X, pp. 171 & 405. 1707, pp. 299, & 1710, p. 426, 435; &c.*

ſympathiques, quand il ajoûte, après l'expérience rapportée ci-deſſus, *je prenois grand plaiſir à contempler ce jeu de la nature.* M. Boyle va plus loin; il craint que l'imagination de ceux qui diſent avoir vû de pareilles figures ſur la glace, en conſéquence de la palingénéſie, n'ait diſpoſé leurs yeux en faveur du phénomène, & il rapporte tous ces faits dans un article de ſes *Eſſais phyſiologiques,* où il traite des expériences qui ne réuſſiſſent point *.

CHAPITRE X.

De l'évaporation de la Glace.

NOUS avons remarqué au commencement de cette Diſſertation, que l'évaporation des liquides devoit être en raiſon compoſée inverſe de leurs peſanteurs ſpécifiques, & directe de leurs fluidités, de leur mouvement inteſtin & des ſurfaces qu'ils préſentent à l'air libre. De ces quatre circonſtances il n'y a guère que la première, la ſeconde & la quatrième qui ſoient appliquables aux ſolides; ſavoir, la peſanteur ſpécifique de leurs parties, la dureté & la ténacité, au lieu de la fluidité, & la grandeur des ſurfaces préſentées à l'air.

* *Tentam. Phyſ.* De experimentis quæ non ſuccedunt.

Il y a grande apparence que tous les solides s'évaporent plus ou moins, & perdent par-là une partie de leur substance: le choc de l'air en emporte tôt ou tard quelques particules imperceptibles. Il en est peu du moins qu'on puisse excepter de cette loi générale. La déperdition de matière se décèle même dans quelques-uns de ceux qui après bien des années conservent sensiblement le même poids, tels que le musc & l'assa-fœtida; car on ne peut douter que l'odeur qui s'en exhale continuellement, & qui remplit de très-grands espaces, ne consiste en des corpuscules qui faisoient partie de ces corps. Je ne voudrois pas en exclurre ce qu'une matière subtile ou éthérée quelconque qui circule dans leurs pores en entraîne au dehors, & qu'ensuite l'air emporte & répand bien loin. Mais cela revient au même que ce qu'il enlève de leur superficie par le choc, & constitue le total de leur évaporation, comme nous l'avons considérée dans les liquides. Cependant il est certain en général, que les solides se dissipent moins que les liquides, par la circonstance, que l'évaporation de ces derniers est d'autant moindre, toutes choses d'ailleurs égales, qu'ils ont moins de fluidité, & que la solidité, ou ce que nous appellons la dureté, n'est à la rigueur qu'une moindre mollesse, & la mollesse qu'une moindre fluidité.

Il eſt donc aſſez étonnant que la glace s'évapore autant ou plus que l'eau dont elle a été formée.

Pour voir bien vîte l'évaporation de la glace, il ne faut qu'en expoſer à l'air quelques morceaux pointus & tranchans; on trouvera bien-tôt leurs pointes & leurs arêtes émouſſées, & leur poids ſenſiblement diminué.

L'évaporation de la glace eſt d'autant plus grande que le froid eſt plus violent. En 1716, où il y eut des jours dont le froid fut auſſi exceſſif que dans l'hiver de 1709, je trouvai quelquefois la glace expoſée à l'air & au vent de nord diminuée de plus de la cinquième partie de ſon poids en vingt-quatre heures. Selon M. Gauteron * qui en fit des expériences à Montpellier en 1709, l'évaporation de la glace alla une fois juſqu'au quart de ſon poids en un pareil intervalle, ſavoir, à 6 grains par heure, ſur une once d'eau expoſée à la gelée. Ce qui fait, ſelon lui, une évaporation plus

* Médecin, Secrétaire de la Société Royale des Sciences de Montpellier. Ses expériences furent envoyées à l'Académie des Sciences, & imprimées à la fin du volume des Mémoires de 1709. On trouvera dans l'Hiſt. de l'Acad. de 1741, p. 17, un phénomène qui a quelque rapport à celui-ci; ſavoir, que de la terre qui eſt imbibée d'eau, & qui fait en tout une maſſe plus ſolide & plus peſante que l'eau, fournit une évaporation plus abondante que l'eau toute pure; d'après les expériences de M. Bazin.

prompte que celle de l'eau dans un temps moyen entre le chaud & le froid.

Pour donner raiſon de ce phénomène, je remarque que la glace ayant preſque toûjours des rides, des traits, des inégalités & une boſſe ſur ſa ſuperficie, elle a par-là plus de ſurface que l'eau dont elle eſt formée. D'ailleurs l'eau qu'on expoſe à la gelée dans des verres, des gobelets & ſemblables vaiſſeaux, qui ſont ſouvent plus larges vers l'ouverture que par le bas, s'en détache ordinairement en peu d'heures, par l'expanſion des bulles d'air qui y ſont renfermées, & la glace monte un peu, en laiſſant tout autour entr'elle & le vaiſſeau, un vuide, qui s'agrandit toûjours de plus en plus; autre circonſtance, qui fait que la glace préſente plus de parties à l'air; ainſi, quant à ſa ſurface, l'eau doit perdre plus de parties par l'évaporation, étant gelée, qu'étant liquide.

Il ne reſte donc que la dureté de la glace, qui puiſſe rendre ſon évaporation plus difficile que celle de l'eau; & je ne doute pas qu'en effet les petits flocons d'air qui heurtent contre la glace, n'y trouvent plus de réſiſtance que contre l'eau; ils ont ſans doute plus de peine à en détacher des particules, leur choc eſt ſouvent inutile; mais auſſi lorſque l'air fait tant que d'emporter quelques pièces de deſſus la glace, elles ſont

apparemment plus grosses que les parties qu'il emporte de l'eau, en conséquence de ce plus grand effort. Il doit aussi ordinairement entraîner plusieurs petits éclats avec la particule de glace, contre laquelle il a frappé, & ébranler toutes celles des environs. En quoi il se trouve encore favorisé par l'effort que les petites bulles d'air qui sont près de sa surface font pour se dilater: de sorte que si l'on ajoûte ces circonstances à celles d'une plus grande surface, & de la légèreté de l'eau lorsqu'elle est glacée, il ne sera pas mal-aisé de comprendre comment son évaporation pendant une forte gelée, peut égaler ou surpasser celle de l'eau ordinaire, dans un temps moyen entre le grand chaud & le grand froid.

N'oublions pas ici ce que nous avons déjà observé dans cette même Section*, que la tendance continuelle des particules de la glace à se redresser, ou à s'écarter en divergence les unes des autres sous l'angle de 60 degrés, s'exerce bien plus aisément à la superficie où rien ne s'oppose à leur effort, que dans l'intérieur; ce qui doit rendre cette superficie & moins transparente, comme elle l'est en effet, & moins polie. L'air enlevera donc d'autant plus les parties de la glace, qu'il y aura plus de temps que la glace sera formée, & qu'elle

* Chap. VII, *p. 292.*

l'aura été par un plus grand froid ; puisque ces circonstances favorisent de plus en plus la disposition de ces particules à se détacher de la masse totale. Toutes les autres causes de l'évaporation de la glace se compliqueront donc avec celle-ci ; & je doute que sans elle on pût donner une raison suffisante de cette grande évaporation à l'égard d'un corps si dur & si solide, & d'autant plus grande, qu'il est plus dur & plus solide.

CHAPITRE XI.

De la Neige.

LA neige, que nous n'avons à considérer ici qu'en qualité de glace toute formée, n'est en effet, comme nous l'avons déjà dit, qu'un amas de très-petits glaçons, pour la plûpart de figure oblongue, de filamens de vapeurs congelés dans la moyenne région de l'air, rameux, & quelquefois assemblés autour d'un centre en forme d'étoiles à six pointes.

Nous avons parlé de ces étoiles (chapitre IX, section I) par rapport à l'angle sous lequel les particules de glace affectent de se joindre entr'elles. Il y a aussi quelquefois de la neige qui semble tenir un milieu entre ces figures régulières & l'amas

informe de petits filets de glace diverſement inclinés, dont nous avons encore fait mention; ſavoir, lorſqu'il ſe trouve dans quelques-uns de ſes flocons, comme de petits bouts de plume dont les barbes parallèles font un angle conſtant, & ſenſiblement de 60 degrés avec la tige. Ce ne ſont peut-être que des fragmens de rayons des étoiles les plus compoſées dont nous avons donné la figure. Il tomba de cette neige à Paris en 1740, & j'y obſervai cet angle à la loupe & au microſcope après avoir reçu quelques-uns de ſes flocons les plus rares ſur un morceau d'ébène que j'avois fait refroidir à la gelée. Et je dois avertir qu'une telle vérification à la vûe ſimple ou avec la loupe, n'eſt ni ſi difficile, ni ſi incertaine qu'on pourroit le croire, du moins à l'égard de l'angle de 60 degrés. Car comme c'eſt celui du triangle équilatéral, il n'y a qu'à imaginer, à diſtance égale du ſommet, ſur l'une & l'autre jambe de l'angle qu'on a ſous les yeux, le côté qui lui eſt oppoſé, & achever ainſi le triangle. Si cette ligne feinte, ou ſi la diſtance de ces deux points eſt ſenſiblement égale à la longueur des deux autres côtés, l'angle donné eſt ſenſiblement de 60 degrés; car le rapport d'égalité eſt celui de tous que l'eſprit & les yeux aperçoivent le plus aiſément, & avec le plus d'exactitude.

Erasme Bartholin *(a)* dit avoir vû dans la neige des étoiles pentagonales, & ajoûte que quelques-uns en ont vû d'octangulaires. Mais il n'insiste point sur ces sortes d'étoiles, & n'en fait pas la description : c'est pourquoi nous ne savons point si elles étoient régulières, si elles ne résultoient pas de la suppression d'une sixième pointe *(b)*, ou de l'addition de deux autres, dont mille hasards pouvoient avoir été la cause. Pour moi qui n'ai jamais vû de pareilles étoiles dans la neige, & qui ne sache pas qu'aucun Auteur les ait décrites, j'ai seulement observé quelques-unes de ces radiations irrégulières à la superficie de certaines congélations, &, vrai-semblablement, par le cas fortuit que je viens de dire ; mais j'ai pris garde en même temps que ces rayons surnuméraires, défectueux ou irrégulièrement posés, eu égard aux autres, n'aboutissoient pas exactement au centre commun, tandis que les filets secondaires qui s'appliquoient aux uns & aux autres, comme les barbes d'une plume à sa tige, faisoient toûjours exactement avec elle un angle de 60 degrés.

Les étoiles qui ont un globule à leur centre ou aux extrémités de leurs rayons,

(a) *Diss. de figura nivis*, p. 4, d'où nous avons pris les figures *A, B, C, D, E,* de la planche II, n.° 5.

(b) Comme, par exemple, dans la fig. *D*.

ou en même temps au centre & à l'extrémité des rayons *(a)*, résultent de quelques particules de neige fondue, ou d'eau en gouttes qui se sont gelées bien-tôt après. Les filets simples qu'on voit quelquefois répandus dans la neige, & qui ont un semblable globule à leurs bouts *(b)*, indiquent manifestement cette formation. Mais quelle complication de méchanique n'exigeront point ces étoiles qui, ayant une étoile pleine ou vuide à leur centre *(c)*, se terminent par une seconde dont les six rayons partent de l'intervalle de ceux de la première, & sont eux-mêmes composés de filets qui s'y appliquent comme à leur tige, & toûjours sous l'angle de 60 degrés ! Et que sera-ce encore si à l'extrémité de ces rayons prolongés il se trouve des bouquets, des feuillages d'une régularité & d'une symmétrie parfaites, je veux dire, qui soient précisément les mêmes à l'extrémité de chacun des six rayons, & toûjours composés de filets qui se joignent sous le même angle ! Car il y a de ces étoiles *(d)* & de bien des espèces diffé-

(a) Comme *C, (même planche, num. 5.)*

(b) Comme *E*. *(c)* Comme *B*.

(d) Voy. celles qui furent observées par M. Stocke, *Phil. Transf. num. 464*, en Janvier 1742. Toutes très-chargées, & infiniment différentes par la distribution & par la configuration des parties : les unes de $\frac{3}{4}$, les autres de 1, de 1 $\frac{1}{4}$ de ligne de diamètre.

rentes, ſans que la loi de cet aſſemblage angulaire reçoive la moindre atteinte de leur variété. Ajoûtez que ces différentes eſpèces ne ſont preſque jamais confondues dans la même neige, & qu'il n'en tombe que d'une eſpèce à la fois, ſoit en différens jours, ſoit à différentes heures d'un même jour *(a)*: preuve qu'il y a encore ici quelque cauſe particulière, telle que le degré, la ſoudaineté ou la lenteur du froid, le temps & le lieu de l'atmoſphère où ſe forme cette neige.

C'eſt certainement ce que je n'entreprendrai point d'expliquer en détail, ou autrement que par cette même loi dont j'ai fait ſentir la néceſſité, tant à l'égard de ces phénomènes que de pluſieurs de ceux de la glace ordinaire.

La neige, en tant que glace, en a donc toutes les propriétés; mais avec les différences que la contexture & la rareté des parties qui la compoſent y doivent apporter.

Ainſi elle occupe un beaucoup plus grand volume que la glace. Celle-ci ne donne qu'un 10me ou un 9me de plus que l'eau dont elle a été formée, &, comme nous l'avons déjà dit, la neige qui vient de tomber a 10 ou 12 fois plus de volume que l'eau qu'elle fournit étant fondue. M. Muſſchenbroek *(b)* ayant meſuré à Utrecht de la

(a) Comme il arriva de celles de M. Stocke. *Sup.*
(b) *Eſſai de Phyſique*, p. 807.

neige qui étoit fort rare & qui étoit en forme d'étoiles, elle se trouva 24 fois plus rare que l'eau : d'où résulte un excès de rareté totale plus de deux cens fois plus grand que celui de la glace par rapport à l'eau. Remarquons aussi en passant que cet excès n'est jamais si marqué que lorsque la neige a plus de ces parties assemblées sous l'angle de 60 degrés, comme l'indiquent ici les figures d'étoiles.

L'évaporation de la neige est si grande, qu'on la voit quelquefois disparoître de dessus la terre en moins d'un ou deux jours par un vent sec, & au plus fort de la gelée lorsque ce qui en est tombé ne se monte qu'à un ou deux pouces d'épaisseur ; ce qui n'est pas mal-aisé à comprendre, la neige présentant au choc de l'air un nombre infini de petites particules de glace presque toutes séparées.

Mais d'un autre côté la neige ne sauroit faire le même effort que la glace pour se dilater, étant déjà toute dilatée à peu près autant que le comporte la tendance angulaire des particules qui la composent ; ni rompre les vaisseaux qui la contiennent, ni résister considérablement à la compression, toutes ces petites aiguilles qui en forment les flocons & qui portent en chevron les unes sur les autres, étant par elles-mêmes très-friables & pouvant aisément être rompues ou entassées.

Il n'est pas étonnant aussi que la neige

confidérée en total ne foit point tranfparente. Elle a tout ce qui conftitue le plus directement l'opacité par fa blancheur, ou ce qui revient au même, par la fubdivifion de fes parties & le nombre infini de petites furfaces différemment inclinées qu'elle préfente à la lumière.

Quant à fon goût, mes effais ne m'en ont rien appris de remarquable. J'aurois cru qu'il devoit différer fenfiblement de celui de la glace ordinaire & de l'eau, par toutes les exhalaifons terreftres dont fes flocons fpongieux peuvent fe charger en traverfant la partie inférieure de l'atmofphère qui en eft plus ou moins imprégnée; & je ne doute pas auffi que felon les climats & les circonftances du temps & du fol, la neige n'ait quelquefois des qualités que l'eau commune n'a pas. Mais Thomas Bartholin qui nous a donné un traité de l'ufage médicinal de la neige, & qui a, fans doute, examiné cet article avec foin, dit n'avoir remarqué aucune faveur dans la neige qui tombe actuellement; quoique long-temps après, lorfqu'elle a féjourné fur la terre, & qu'elle s'y eft taffée, elle y contracte quelque chofe de mordicant qui fe fait fentir fur la langue. La plûpart des habitans de la Norvège ne boivent en hiver que de l'eau de neige fondue.

Quoique la neige ne confifte qu'en de petits filets de glace diverfement inclinés les uns

aux autres, on croit communément qu'elle a quelque chaleur qui lui eſt propre, ou qu'elle eſt moins froide que la glace. C'eſt là-deſſus que quelques Auteurs ont fondé l'utilité dont elle eſt pour la végétation des plantes, & l'uſage qu'on en fait pour dégeler les membres & les fruits qui ont été gelés par un froid extrême. Sur quoi je n'ai pas aſſez d'expériences pour en dire mon avis. Mais en attendant, je crois que ce qui a été remarqué ci-deſſus * du temps doux qu'il fait quelquefois pendant qu'il tombe de la neige, pourroit bien avoir donné naiſſance à cette opinion. Car du reſte, les obſervations & les expériences les plus exactes concourent à nous perſuader que la glace quelconque, ſoit de neige, ſoit d'eau en plus grande maſſe, a toûjours à peu près le même degré de froideur dans l'inſtant de ſa formation, quoique l'une puiſſe devenir enſuite plus froide que l'autre, & qu'en cette qualité la moins froide puiſſe être de quelque ſecours étant appliquée ſur les membres ou ſur les fruits gelés, comme nous le dirons plus particulièrement dans la dernière Section.

* A la fin du chapitre IX de la Section II.



SECTION IV.

Des Phénomènes de la Glace dans sa destruction ou dans sa fonte, & du Dégel.

CHAPITRE PREMIER.

De la fonte de la Glace en général.

LA Glace doit se détruire par des causes contraires à celles qui l'ont produite. C'est l'affoiblissement & l'effusion de la matière subtile ou éthérée engagée dans les interstices des parties intégrantes de l'eau qui font que l'eau devient glace ; ce sera une augmentation de quantité, de mouvement & de ressort de cette même matière qui rendront à l'eau sa liquidité.

La cause générale pour liquéfier l'eau glacée, de même que pour durcir & congeler celle qui est liquide, n'agit que par le contact des corps, soit solides, soit liquides ou fluides qui environnent la glace, selon qu'ils sont plus ou moins chauds, & qu'ils communiquent plus ou moins de mouvement & de ressort à la matière éthérée qui pénètre dans les interstices de la glace ou de ses parties intégrantes.

Les corps solides appliqués sur la glace,

ou ſur leſquels la glace eſt appliquée, agiſſent avec d'autant plus de force & de promptitude, toutes choſes d'ailleurs égales, qu'ils ſont plus ſolides ou plus denſes, la matière éthérée y étant plus reſſerrée dans un même eſpace, & leur contact avec la glace ſe faiſant alors par un plus grand nombre de points. Ainſi du métal moins froid que la glace, ou dont la température actuelle eſt au deſſous du froid de la congélation, étant appliqué ſur de la glace, la fera fondre plûtôt que du bois ou de la laine, quand même le bois ou la laine, ou tel autre corps, ſeroient plus chauds que le métal.

On fait là-deſſus une expérience qui le prouve manifeſtement. On prend deux morceaux de glace ſenſiblement égaux & à peu près de même figure ; on met l'un ſur une aſſiette d'argent, par exemple, & l'autre ſur la paume de la main ; le premier eſt plûtôt fondu que le ſecond. J'ai vû faire cette expérience, & je l'ai faite. M. Haguenot l'a répétée & vérifiée depuis avec plus d'appareil devant la Société Royale de Montpellier *. Il fit plus, il compara l'efficacité de divers métaux à cet égard, de l'or, du cuivre, du plomb, de l'étain, du fer, de l'acier, *& il trouva conſtamment que la glace fondoit plus vîte ſur le cuivre que ſur tous les*

* Extr. de l'Aſſ. publ. de la Soc. R. de Montp. du 22me Déc. 1729.

autres métaux, & sur un fer à repasser, plus vîte que sur un fer ordinaire. Selon nos principes, l'or auroit dû l'emporter; mais qui ne voit qu'il ne s'agit pas ici de ces petites différences prises à la rigueur, & que dans l'explication générale que nous donnons de ce phénomène, nous ne prétendons point exclurre les exceptions qui peuvent naître de la nature particulière de chacun de ces corps? Le cuivre, & sur-tout le cuivre jaune, est celui de tous les métaux qui se dilate le plus par la chaleur *, & c'en est assez pour présumer qu'il est celui de tous qui contient le plus de matière subtile ou ignée, ou celui dans lequel elle a le plus de mouvement. Le fer à repasser, où *la glace fond plus vîte que sur un fer ordinaire,* se trouve peut-être dans le même cas par l'usage qu'on en fait; mais il est aussi communément plus lisse que le fer ordinaire, comme on l'entend sans doute de celui-ci; ce qui ne peut manquer de produire une application plus prompte, un contact plus complet de la glace qu'on met dessus. Du reste nous ignorerons le rapport exact de température entre les métaux, jusqu'à ce qu'on ait trouvé le thermomètre dont j'ai parlé dans le chapitre V de la Section précédente.

L'efficacité des liquides & des fluides pour fondre la glace, doit se régler sur les

* Mussch. *Essai de Phys. p. 453.*

mêmes principes en général, & de plus ſur le mouvement inteſtin, ſur la groſſeur & la ſolidité des parties intégrantes qui les compoſent. C'eſt par toutes ces circonſtances qu'une pièce de glace eſt beaucoup plus de temps à fondre près du feu, à une diſtance où l'on auroit de la peine à tenir la main, que dans de l'eau tiède. Car la matière ſubtile qui ſe meut avec les parties intégrantes de l'eau, & qui leur communique toute leur agitation, les pouſſe continuellement contre le glaçon qui y eſt plongé, & à l'aide de ces groſſes maſſes, par rapport à ſes molécules, elle met en mouvement pluſieurs particules de glace, elles les ſépare, & s'y fait un paſſage; tout de même qu'une rivière abat un pont par le choc des glaçons & des troncs d'arbres qu'elle pouſſe contre lui, tandis que la ſimple impétuoſité de l'eau auroit été incapable de l'ébranler.

L'air fait quelque choſe de ſemblable ſur la glace, mais ſon action eſt très-inférieure à celle de l'eau; parce qu'il n'eſt compoſé que de petits flocons de filets ou de lames peut-être huit à neuf cens fois plus légères qu'un pareil volume d'eau, ce qui revient au même que ſi ces filets ou ces lames étoient huit à neuf cens fois plus petites qu'elles ne ſont. D'ailleurs l'air affoiblit apparemment beaucoup plus la matière ſubtile à cet égard, par ſes ſpirales & ſes

rameaux, qu'il ne lui aide par la grosseur des particules qui le composent; car tout le reste étant égal, un morceau de glace qui est 6 minutes 24 secondes à se dégeler dans l'air libre, n'emploie que 4 minutes à se fondre dans la machine du vuide; c'est-à-dire en général, que la fonte de la glace y est d'un tiers plus prompte que dans l'air *.

CHAPITRE II.

Que la glace se fond beaucoup plus lentement qu'elle ne s'est formée; & pourquoi.

LE fait est certain; tout le monde sait que telle glace qui se sera formée en cinq ou six minutes à l'air d'une forte gelée, sera plusieurs heures, & quelquefois des jours entiers à se fondre étant transportée dans un lieu moins froid, & où la même eau se maintenoit auparavant dans son état de liquidité. L'utile invention des glacières n'est fondée en partie que sur ce principe; car il s'en faut bien qu'à l'endroit le plus profond du creux qu'on fait en terre pour y conserver la glace, ni la terre humide, ni les filets d'eau qui pourroient s'y ren-

* Expérience faite *& réitérée plusieurs fois* par M. Homberg. *Mém. de l'Acad. 1693, Tome X, p. 265.*

contrer, ne foient toûjours à portée de s'y glacer, en été fur-tout, & dans les climats un peu chauds où les glacières font de plus grand ufage.

Si l'on fuppofe, comme nous avons fait par manière d'exemple dans la première partie de cet ouvrage *, que la congélation de l'eau arrive par des diminutions de mouvement de la matière fubtile intérieure, felon quelque progreffion, telle que 6, 12, 24, 48, &c. dont chaque terme réponde à une minute de temps, pendant que la matière fubtile extérieure ne diminue que d'un degré à chaque minute; fi, dis-je, l'on fuppofe cet ordre dans la formation de la glace, il ne fuffira pas de le renverfer pour exprimer celui qu'elle garde en fe fondant : car le même degré de chaleur, ou de mouvement de la matière fubtile, qui entretenoit l'eau dans fon état de liquidité, doit avoir bien de la peine à le lui rendre, quand elle l'a une fois perdu ; & telle augmentation de mouvement peut bien ne pas produire la fonte de la glace, qu'une pareille diminution de mouvement aura formée. Ce que plufieurs voyageurs rapportent des prodigieux monceaux de glace que l'on trouve au delà du Cercle polaire, & qu'ils jugent être auffi anciens que le Monde, confirmeroit notre théorie fur ce fujet : car il

* Chap. VII, *page 39.*

pourroit ſe faire que les étés de ces climats ne ſeroient jamais capables de fondre toute la glace que les hivers y auroient amaſſée.

Nous n'en tirerions pourtant pas la conſéquence qu'en a tirée un ſavant Anglois * qui écrivoit vers le milieu du ſiècle paſſé, & qui ayant adopté l'opinion des glaces perpétuelles autour des Poles, les fait monter ſi haut, qu'il en déduit la figure de la Terre ſenſiblement alongée ſur ſon axe. C'eſt la raiſon qu'il donne de l'apparence elliptique de l'ombre terreſtre ſur le diſque de la Lune, dans deux éclipſes, dont l'une fut obſervée par Tycho-Brahé, & l'autre par Képler. Mais tout cela pêche par bien des endroits. On ſait aujourd'hui, & nous l'avons déjà remarqué, que les mers les plus glaciales autour du Pole ne ſont telles qu'auprès des côtes, & juſqu'à vingt ou vingt-cinq lieues en mer. Ainſi il ne faut pas imaginer cette protubérance des glaces comme uniformément étendue ſur toute cette partie du globe & comme capable d'y produire une courbure elliptique, mais plûtôt comme des tas répandus çà & là. Et ces tas ou ces monceaux de glace immenſes, ſi l'on veut, & très-immenſes pour les navigateurs qui les rencontrent ſur leur chemin, que pourroient-ils être autre choſe

* Childrey, *Hiſt. des ſingularités d'Angleterre, d'Ecoſſe & du pays de Galles*; Province de Caernarvon.

que de petites rugofités infenfibles fur la totalité du Globe, & plus encore fur les bords mal terminés de fon ombre dans les éclipfes lunaires. Ceci n'a d'ailleurs aucun rapport avec la fameufe queftion de la figure de la Terre, qui ne fut mue qu'une vingtaine d'années après, & qui eft fondée fur des principes de Statique tout différens.

Mais revenons à notre calcul fur la fonte de la glace.

Il eft bien plus aifé à la matière fubtile intérieure, de s'échapper d'entre les parties intégrantes du liquide, ou d'y perdre une partie de fon reffort, pendant qu'elle les tient féparées, que de s'y gliffer, ou de recouvrer le reffort perdu, après que leurs furfaces fe font appliquées les unes contre les autres, & que plufieurs de ces parties ne lui laiffent aucun paffage pour les divifer & pour vaincre la compreffion de la matière fubtile extérieure qui entretient leur union. En fuivant donc l'hyphothèfe précédente, felon laquelle la diminution d'un degré de mouvement dans la matière fubtile extérieure pendant la première minute, a produit une diminution de 6 degrés dans la matière fubtile intérieure de l'eau, on doit concevoir que l'augmentation d'un degré de mouvement dans la matière fubtile extérieure pendant la première minute, ne produira peut-être pas une 1000me partie de degré de mou-

vement ſur les particules de la glace, & ainſi de ſuite, ſelon telle progreſſion qu'on jugera la plus convenable. Je dis ſur les particules de la glace, & non ſur la matière ſubtile intérieure; parce que, comme je viens de le remarquer, celle-ci pourroit recevoir beaucoup de mouvement de la première, ſans qu'elle eût pourtant encore aſſez de force pour déſunir des ſurfaces qui ne lui permettent quaſi aucun paſſage. Je crois qu'il faut preſque toûjours que la matière ſubtile ébranle les particules de la glace par ſon choc, avant que de pouvoir s'inſérer entr'elles; & les molécules de la matière ſubtile étant d'une petiteſſe comme infinie, par rapport aux parties intégrantes de la glace ou de l'eau, elles ne ſauroient faire cet ébranlement que par leur grand nombre, par une extrême agitation, & dans un temps conſidérable.

CHAPITRE III.

De l'ordre dans lequel les parties de la glace ſe fondent.

LA glace commence à ſe former par les bords & par la ſurface de l'eau; elle commence de même à ſe détruire par ſes bords, par ſes pointes, ſes angles ſolides,

& par ſes arêtes lorſqu'elle en a, & enſuite par toute ſa ſurface expoſée à l'air. Ainſi la fonte de la glace n'eſt pas abſolument l'inverſe de la congélation, puiſqu'elle commence à fondre aux mêmes endroits par où elle avoit commencé à ſe former; mais elle l'eſt à d'autres égards, puiſqu'à ſa ſurface, par exemple, les dernières parties qui s'y étoient gelées ſont les premières à fondre, & que les filets de glace par où elle avoit commencé ſont ordinairement ce qui s'y fond le plus tard, par cela même que c'en étoient les parties les plus diſpoſées à la congélation, & réciproquement les moins diſpoſées après cela à la fonte.

On aperçoit d'abord ſur la ſuperficie de la glace une eſpèce de ſueur qui la rend plus terne & moins tranſparente qu'elle n'étoit auparavant; parce qu'elle conſiſte en pluſieurs gouttelettes d'eau ou de vapeurs qui réfléchiſſent diverſement la lumière. Dans peu de temps ces particules d'eau augmentant en nombre & de groſſeur, & venant à ſe joindre, forment de petits filets ou des traînées d'eau, & ruiſſelent de tous côtés plus ou moins uniformément en ligne droite, courbe ou tortueuſe, ſelon que la ſuperficie de la glace étoit plus ou moins unie, & plus ou moins de niveau, ou diverſement inclinée. Lorſque la diminution du froid eſt prompte & de pluſieurs degrés par rapport à

celui de la congélation, & accompagnée d'un vent humide, la superficie de la glace prend bien-tôt le plus beau poli & toute sa transparence, parce que l'eau qui coule abondamment de toutes ses surfaces en enlève toutes les rugosités, en remplit tous les petits creux formés par les bulles d'air, & y répand par-tout comme un vernis clair & limpide, ainsi que nous l'avons expliqué ci-dessus en parlant de la transparence de la glace.

Dans tous ces cas & lorsque la glace ne nage point dans l'eau qui provient de sa fonte, ou que cette eau peut s'écouler par les côtés, il succède au poli de ce qui reste à fondre, des rainures, des cavités çà & là, qui font de la glace un corps raboteux comme une pierre ponce, une espèce de neige à demi-fondue. Car la glace n'étant point d'une égale consistance dans toutes ses parties, celles qui sont les moins compactes fondent les premières, & selon que par mille circonstances elles se trouvent plus ou moins abreuvées de l'eau qui coule ou qui séjourne plus ou moins dans un endroit que dans l'autre. C'est sous cette forme que la glace achève ordinairement de se détruire ou de se fondre.

Tous ces accidens, qu'il est impossible de ramener à rien de constant, font qu'il est très-rare que les filets par où la glace

commence à se former, & les figures qui en résultent, se manifestent dans sa fonte. Le hasard seul m'en a fourni quelques exemples. Cependant lorsque la glace ne consiste qu'en une pellicule très-mince, lorsque ce n'est qu'un peu d'humidité qui s'est congelée sur une surface unie, il n'est pas si extraordinaire d'y apercevoir quelques-uns de ces filets qui sont les derniers à fondre, & même les angles & les figures qu'ils forment entr'eux, les particules de glace qui remplissoient leurs intervalles, & qui les unissoient, ayant fondu ou s'étant évaporées les premières.

Enfin il paroît quelquefois dans ce dernier cas des figures tout-à-fait différentes de celles que nous avons observées dans la formation de la glace; mais c'est ce qui sera le sujet d'un des chapitres suivans.

CHAPITRE IV.

Du Dégel.

L'ADOUCISSEMENT qui résout les glaces & les neiges dans tout un pays, ce relâchement général du grand froid, qu'on appelle proprement Dégel, arrive par des causes toutes contraires à celles de la gelée. Le dégel est en cela plus parfaitement l'inverse de la gelée que la fonte particulière de la

glace ne l'eſt de la congélation. Il ſuffira donc de ſe rappeller les cauſes générales & particulières de la gelée expoſées dans la première partie de cette Diſſertation, & d'y oppoſer leurs contraires pour expliquer le phénomène du dégel. Le retour du Soleil vers notre hémiſphère, ſes rayons plus directs, moins d'atmoſphère & de vapeurs qu'ils auront à traverſer, l'affaiſſement ou la précipitation des corpuſcules nitreux & ſalins répandus dans l'air, les vents chauds ou tempérés & humides qui viennent des régions du midi, & plus que tout le reſte le relâchement des parties extérieures du terrein par une ſortie plus abondante des vapeurs intérieures qui émanent du fond de la terre ou du centre du Globe, ſeront ces cauſes contraires & celles du dégel.

Les ſuites les plus ordinaires & les plus connues du dégel, ſont le débordement des rivières, la deſtruction des ponts par le choc des groſſes pièces de glace que les rivières & les fleuves entraînent, & les montagnes de glace qui ſe forment quelquefois en certains endroits de leur cours, ou au milieu des mers glaciales, par l'aſſemblage des glaçons que les flots lancent avec impétuoſité les uns ſur les autres : effets dont la cauſe eſt trop viſible, pour nous y arrêter. Si l'on en veut un exemple conſacré par l'hiſtoire, on peut voir dans l'Abrégé de

Mézerai, année 1608, la montagne de glace qui s'étoit formée à Lyon sur la Saône devant l'église de l'Observance, par l'accumulation des glaces que cette rivière y avoit poussées, & la manière prétendue magique dont cette montagne fut brisée, & apparemment pétardée.

Il n'est guère plus difficile d'expliquer ce froid qui semble redoubler, lorsqu'il est près de finir, & qui se répand dans l'air au commencement du dégel. Ce n'est presque jamais qu'une pure illusion de nos sens. Le thermomètre, témoin irrévocable en matière de froid & de chaud, en est la preuve, puisqu'il hausse presque toûjours au commencement du dégel. Mais il se répand alors dans l'air une si grande quantité de particules aqueuses, ou de petits glaçons fondus, encore très-froids, & toûjours très-denses en comparaison de l'air, qu'ils excitent sur notre peau à laquelle ils s'appliquent plus immédiatement que l'air, une sensation de froideur que cet air sec n'y excitoit pas auparavant. C'est ainsi qu'un brouillard moins froid que l'air pur qui l'environne, nous paroît beaucoup plus froid que cet air. Il est vrai que pour l'ordinaire le thermomètre n'est jamais plus bas qu'un peu avant le dégel; mais c'est que le froid, qui est en même temps cause & effet de la gelée, croît presque toûjours de plus en plus jus-

qu'au dégel. Je ne voudrois pourtant pas exclurre du moment où la glace de tout un pays commence à fondre, un froid réel qui se répandît dans l'air, par l'absence d'une partie de la matière subtile qui le pénétroit, & qui passe dans ce nombre infini de particules d'eau glacée qui se fondent, où elle se loge, & qu'elle va, pour ainsi dire, animer, en les faisant redevenir liquides.

Le dégel, & la gelée dont il est précédé, sont deux phénomènes réciproques qu'on doit étudier & observer conjointement, & de l'observation constante desquels je ne doute point qu'on ne pût retirer de très-grands avantages.

CHAPITRE V.

Plan d'observations à faire sur les retours annuels & périodiques de la gelée & du dégel, & sur leurs durées par rapport au climat de Paris, & aux autres climats de la Terre.

LA gelée & le dégel dans les climats tempérés semblent n'être que des accidens. La cause générale de la vicissitude des saisons n'y est point assez forte pour amener l'un & l'autre en des temps réglés & périodiques, ni d'une manière constante. Il gèle

& il dégèle à Paris quelquefois avant, plus ſouvent après le ſolſtice d'hiver, &, d'une année à l'autre, en des points de l'hiver très-différens. On y voit des hivers ſans glace, & des printemps, des automnes, des étés même, où la gelée ſe fait ſentir. On pourroit preſque révoquer en doute qu'il y gelât jamais par la cauſe générale & conſtante, abſtraction faite des cauſes particulières, accidentelles & variables qui l'accompagnent, ſi la cauſe générale ne s'y manifeſtoit par le grand nombre d'hivers où il gèle, en comparaiſon de ceux où il ne gèle pas. Mais en avançant vers l'Equateur, il y a certainement des pays ſur le Parallèle deſquels il ne géleroit point du tout par cette cauſe, comme il y en a vrai-ſemblablement près des Poles où il géleroit toûjours.

Quelque variété qui règne dans la Nature, on ne peut douter que tout n'y tende à une eſpèce d'équilibre & d'uniformité, & que l'inconſtance même n'y ait ſes loix. Si nous avions des obſervations météorologiques de pluſieurs ſiècles dans un même pays *, il y a tout lieu de croire que la ſomme totale des pluies, des vents, des gelées & des dégels de ce pays pendant un ſiècle, ne différeroit pas ſenſiblement de celle d'un autre ſiècle, ou que s'il s'y trouvoit des différences

* Extrait de l'Hiſt. de l'Acad. des Sc. 1743, *p. 17*, où j'avois inſéré à peu près ce qui ſuit.

marquées, un nombre de fiècles plus grand encore nous en dévoileroit la marche & les compenfations. Car enfin, les pièces de cette machine & du fyftème folaire ne font pas infinies; leurs révolutions doivent nous redonner à peu près les mêmes effets, ou nous indiquer la caufe de variation ou de dépériffement qui en trouble les retours. L'Afie, l'Afrique & l'Amérique nous fourniffent mille exemples de grandes contrées où il tombe en certains temps de l'année des pluies réglées auxquelles on s'attend, & fur lefquelles il eft rare que l'on fe trompe. Ces contrées font pour la plûpart comprifes entre les tropiques, ou ne s'en éloignent pas beaucoup. L'Europe qui, en général, ne nous offre rien de pareil, occupe au contraire le milieu d'une zone tempérée; mais auffi fes parties les plus feptentrionales font affez régulièrement chargées de neige pendant fept à huit mois de l'année, & l'été qui fuccède à ce long hiver eft communément affez uniforme. Les vents font toûjours plus réglés par leurs durées, par leurs directions & par le temps de l'année où ils foufflent, dans la zone torride & dans la zone polaire que nous connoiffons, que dans la tempérée qui eft entre ces deux extrêmes. On obferve quelque chofe de femblable en Iflande & dans le Groenland fur les gelées, fur les dégels & fur les variations du baromètre qui difpa-

roiſſent preſqu'entièrement ſous l'équateur. Or ſi le dérèglement des pluies, des vents, des gelées & des dégels peut être ramené à quelque choſe de fixe & d'uniforme dans les extrêmes, n'eſt-il pas à préſumer que la même conſtance & la même uniformité ſubſiſtent dans les climats moyens qui en participent, quoique ſous une forme plus compliquée & plus difficile à démêler ?

Je ne trouve pas que l'Académie des Sciences ait établi des obſervations météorologiques avant 1688. Il paroît ſeulement que quelques-uns de ſes Membres avoient obſervé pluſieurs années auparavant la quantité d'eau de pluie qui tombe tous les ans, ſoit à Paris, ſoit à Dijon, ce qui s'en évapore, & ce qui s'en imbibe dans la terre à plus ou moins de profondeur, comme on en peut juger par quelques ouvrages ſur l'origine des fontaines & des rivières, & ſur-tout par le Traité du mouvement des eaux de M. Mariotte. Mais je doute qu'il y ait rien eu de régulier & de ſuivi ſur ce ſujet dans cette Compagnie, non plus que parmi les autres Savans de l'Europe, avant le temps que je viens de fixer. On obſerva alors, non ſeulement la quantité de pluie, mais encore les vents, les variations du baromètre, celles du thermomètre, le chaud & le froid; & il réſulte de ces obſervations auſſi utiles, auſſi précieuſes pour les vrais Phyſiciens, que peu brillantes

brillantes en elles-mêmes, que le plus grand froid & le plus grand chaud de notre climat ne se font sentir, année commune, qu'environ un mois & plus après les solstices d'hiver & d'été. Les raisons que j'ai données ailleurs * de ce phénomène sont assez connues, & se réduisent à celle-ci, que la terre encore échauffée par l'été & l'automne, balance pendant un mois & plus, le froid imprimé au terrein ou excité dans l'atmosphère par la cause générale des saisons, & de même à l'égard de la chaleur. Mais on n'a rien donné d'équivalent ou d'assez exact par rapport aux gelées & aux dégels pour en déterminer le commencement, la durée & la fin relativement à chaque climat, abstraction faite des causes accidentelles. Car je ne doute point qu'on ne découvrît là-dessus dans chaque pays une année moyenne entre certaines limites, comme on a fait pour le plus grand chaud & le plus grand froid, & pour la quantité d'eau de pluie.

On pourroit donc se faire un canevas d'observations entre ces limites pour tous les climats de la Terre où l'alternative des gelées & des dégels a lieu, en traçant ces limites sur un plan, ou sur un globe terrestre avec ses méridiens & ses parallèles, & en partant du cercle des solstices, qui seroit à cet égard comme le premier méridien qui passe

* Mém. 1719, *p. 118..... 126.*

par l'Isle de Fer par rapport aux longitudes*.

CHAPITRE VI.

De la Glace où de l'espèce de Neige qui s'attache aux murailles, après les longues gelées, pendant le dégel.

TOUT corps plus froid que l'air qui l'environne, condense cet air & la vapeur aqueuse dont cet air est chargé, & il la gèle si cette froideur va jusqu'à la congélation ou surpasse la congélation.

* Soit P, (*planche IV*) le pole, autour duquel sont tracés les parallèles $C B C$, $M Q N$, $m q n$, &c. & d'où partent les méridiens $P Q$, $P M$, $P N$, $P m$, $P n$. Soit $P Q E$ le cercle des solstices ou la portion de ce méridien comprise entre le pole P, & le parallèle $L E L$, au delà duquel, en allant vers l'équateur, il ne gèle jamais qu'accidentellement. Nous pouvons imaginer de même autour du pole un cercle ou parallèle $C B C$, dans lequel l'eau commune ne dégéleroit jamais que par accident. Cela posé, $B E$ sera le diamètre ou l'axe des deux courbes des limites $A M Y$ des gelées, & $A N Y$ des dégels. Soit chacun des parallèles, compris entre B & E, divisé en autant de parties qu'il y a de jours dans l'année, ou, soit pris sur les degrés & minutes de Q ou q, vers M ou m, autant de degrés & minutes qu'en contient le nombre de jours dont la gelée doit précéder l'arrivée du Soleil au solstice d'hiver par la cause générale & constante des saisons sur le parallèle donné; & de même de Q ou q, vers N ou n, pour le nombre de jours qui doivent s'écouler depuis le solstice jusqu'au dégel par la même cause. Il est clair, 1° Que la ligne menée par

Les corps, toutes choses d'ailleurs égales, gardent d'autant plus leur état de chaleur ou de froideur, qu'ils sont plus solides, plus pesans, ou qu'ils contiennent plus de matière propre. Leur superficie ne prend pas même aisément la température de ce qui

tous les points *M*, *m*, donnera la courbe des gelées *AMmY*, & par tous les points *N*, *n*, celle des dégels *ANnY*. 2° Que la partie du parallèle *MN*, *mn*, interceptée par ces deux courbes, exprimera la durée de la gelée sur chacun de ces parallèles, comme la courbe *BTtA* qui les partage en deux également en exprimera le milieu. 3° Que sur le parallèle *CBC* les deux extrémités *m*, *n*, se réunissent en *Y* où se terminent les deux courbes des limites. 4° Que si l'on veut appeller froid tout ce qui est au degré de la congélation & au dessous sur le thermomètre, & nommer chaud tout ce qui en fait monter la liqueur au dessus, l'espace *AMmYnNA*, compris entre les deux courbes, & le reste de toute la surface de l'hémisphère polaire comparés ensemble, donneront l'année commune ou les sommes moyennes du froid & du chaud qui règnent sur tout cet hémisphère, & même sur toute la Terre; car la différence qu'il y doit avoir à cet égard de l'hémisphère boréal à l'austral peut y être aisément ramenée. Enfin il est clair qu'une partie de la courbe *AMmY* doit se trouver au delà de l'axe *PE*, vers son origine *A*, & avoir un point d'interfection, & peut-être d'inflexion, *S*, sur son axe. Car puisque sur un parallèle, tel que celui de Paris, les gelées n'arrivent communément qu'un mois & plus après le solstice, il y aura nécessairement sur ce parallèle, ou sur un autre au dessus vers le pole, ou au dessous vers l'équateur, un point tel que *S*, pour le commencement des gelées, après lequel elles ne commenceront plus qu'au delà vers l'origine de la courbe, & enfin au point *A*, où, à la rigueur & selon l'hypothèse, elles ne dureroient qu'un instant.

les environne jusqu'à ce qu'elle ait pénétré assez avant dans leur solidité.

Avec ces deux principes, qui n'ont pas besoin d'explication, celle du phénomène dont il s'agit ne souffre aucune difficulté.

Une longue & forte gelée imprime aux corps solides, tels que les murs épais, une froideur qui dure encore assez long-temps après que le dégel a réchauffé l'air, & sur-tout du côté du mur qui est le moins exposé à l'adoucissement extérieur. Ainsi les parois intérieures des escaliers & des autres murailles des maisons, lorsqu'elles sont éloignées du feu, & à couvert des rayons du Soleil, se montrent toutes tapissées de glace ou de neige, après les longues & fortes gelées, parce que l'air qui est un fluide fort rare, prend aisément le degré de chaleur amené par le dégel, & long-temps avant qu'il ait pénétré les murailles épaisses qui demeurent encore aussi froides, ou plus froides que la glace; & de plus parce que l'air est chargé de beaucoup d'humidité & de particules de glace fondues pendant le dégel. Toutes ces gouttelettes ou ces petites ampoules d'eau venant à s'appliquer & à s'accumuler successivement sur la muraille, & les unes sur les autres, y forment une croûte de glace, rare, spongieuse, composée de parties presque disjointes, comme de la glace brisée, & par conséquent blanche, & fort semblable

à de la neige. Les longues gelées deviennent preſque toûjours très-fortes, & ont tout le temps de pénétrer la pierre; auſſi eſt-ce après, qu'on y voit cette couche farineuſe. J'en ai vû tout le grand eſcalier du Louvre tapiſſé en 1729, 1741, &c. pendant quelques jours, & d'une ligne, d'une ligne & demie, ou de près de deux lignes d'épaiſſeur en certains endroits.

C'eſt une erreur de croire que cette eſpce de neige vient de l'humidité qui ſort du mur, elle n'a garde d'en ſortir, puiſqu'il eſt encore auſſi froid que la glace, ou même beaucoup plus froid, & que ce qu'il y a d'humidité au dedans, n'y peut être que glacé.

Il ſe fait quelque choſe d'approchant ſur les parois extérieures des ſeaux de métal, de porcelaine & de fayence remplis de glace, & où l'on fait rafraîchir les liqueurs. Ils ſont tout couverts de gouttelettes d'eau condenſées qui leur donne ce terne & ce mat qu'on y aperçoit. Ces gouttelettes ſont fournies par l'air extérieur, par la vapeur qui s'élève ordinairement de la glace qui ſe fond, & qui eſt quelquefois viſible dans les glacières, comme de la fumée. Elles ſe géleroient ſur les parois du ſeau, ſi l'épaiſſeur du métal ou de la terre, & ſi l'eau de la glace déjà fondue, ne les en défendoient, & plus encore, ſi l'on redoubloit la glace,

ou ſa froideur par quelque ſel; comme nous le dirons dans la Section des glaces artificielles.

CHAPITRE VII.

Des figures curvilignes qui ſe trouvent quelquefois tracées ſur les vitres par pluſieurs brins de glace, pendant le dégel.

CE phénomène eſt, quant au fond, le même que le précédent. Il en diffère par la circonſtance des figures, & c'eſt par-là auſſi qu'il eſt à mon avis beaucoup plus difficile à expliquer.

J'ai aſſez ouï parler des figures ſingulières qui ſe forment ſur les carreaux des vitres pendant la gelée ou le dégel. On m'a aſſuré qu'en Allemagne, & dans les pays & les maiſons où l'on fait grand uſage des poêles, elles étoient fort communes; qu'ici même pendant les gelées, on s'en étoit fait quelquefois un jeu, en pouſſant ſon haleine contre les carreaux; & tout cela vaguement conçu ne me paroît pas difficile à entendre, après ce qui a été dit dans le chapitre précédent. L'air de la chambre eſt chaud ou tempéré, la vitre eſt froide, auſſi froide ou beaucoup plus froide que la glace par l'impreſſion de la gelée extérieure, & la vapeur qui

s'y attache du côté de la chambre y est subitement congelée. Ou au contraire, si c'est pendant le dégel, si c'est l'air de la chambre qui soit très-froid encore, & que l'adoucissement vienne du dehors, comme dans le cas dont il s'agira principalement ici, ce sera l'humidité du dehors qui s'attachera aux carreaux, & qui s'y congélera. Tout cela, dis-je, en général ne souffre aucune difficulté. Mais pourquoi ces figures ? quelles sont ces figures ? Et lorsque le hasard les fait paroître, est-ce pendant la gelée, ou au dégel ! C'est sur quoi je n'ai rien pû recueillir de positif, ni de bien circonstancié.

De plus, il faut que le phénomène exige un concours de circonstances assez rare, qu'il soit moins fréquent qu'on ne dit, ou que le hasard m'ait bien mal servi ; car je ne l'ai vû que deux fois à Paris, & jamais dans le bas Languedoc où j'ai été pourtant assez occupé des phénomènes de la glace. J'aurois pû depuis me le procurer par art, & de manière peut-être à m'instruire de sa véritable cause ; j'avois imaginé quelques moyens pour cela, mais d'autres occupations m'ont empêché de mettre la main à l'œuvre : excuse qu'il me semble qu'on doit quelquefois me passer, dans le cours d'une recherche qui se divise & se subdivise en autant de branches que celle-ci.

Je n'ai donc pas de meilleur parti à prendre

en cette occaſion, que de rapporter hiſtoriquement le phénomène tel que je l'ai vû, dans quelles circonſtances je l'ai vû, & les réflexions qu'il m'a fait faire.

Le 19 Janvier 1729, vers les huit heures & demie du matin, la forte & longue gelée de cette année étant à ſon dernier période, & pluſieurs ſignes en indiquant la fin, j'aperçus ſur les carreaux de vitre de l'une des deux fenêtres de la galerie où je tiens mes livres, où il n'y a jamais de feu, & qui donne ſur le levant, une pouſſière de glace, blanche & très-fine, qui, étant regardée de près, repréſentoit des rinceaux contournés en ſpirale, des ramages comme on en voit dans les friſes des bâtimens, & ſur les plafonds, des moreſques comme celles de certaines étoffes, ſur le damas, & ſur le linge façonné de Flandres; tout cela peu diſtinct, & mêlé de cette pouſſière qui en rempliſſoit les intervalles, & en interrompoit ſouvent les contours. Le phénomène dura environ une heure, & ſe diſſipa, ſi je ne me trompe, par évaporation. Mais le lendemain 20me au matin & à la même heure, ayant été regarder à la même vitre, j'y vis avec admiration toutes ces figures mieux développées, ces ramages plus marqués, par une plus groſſe pouſſière, blanche, oblongue dans la direction des contours, & ces contours d'une hardieſſe

merveilleuſe. Cinq ou ſix carreaux en étoient chargés extérieurement, il y en avoit un ſur-tout qui fixa mes regards. Une eſpèce de tige partoit d'un de ſes angles, & ſe diſtribuoit en pluſieurs rameaux juſqu'à ſes extrémités, au dela deſquelles ils ſembloient continuer de s'étendre ſur les carreaux voiſins, quoiqu'interrompus par les plombs de jointure, & à une ou deux lignes de diſtance de part & d'autre.

Mon premier ſoin, après avoir bien conſidéré ce phénomène, fut de le deſſiner du mieux qu'il me ſeroit poſſible pour le peu de temps qui me reſtoit; car la pouſſière de glace commençoit à fondre, à couler, & à former des gouttes en quelques endroits de l'eſpace même où je voulois borner mon deſſein. On peut en voir une partie dans la Planche V, qui eſt à la fin de ce volume, en imaginant que ces petits traits oblongs qui forment les ramages, au lieu de noirs qu'ils ſont, ayant été faits à la plume, doivent être blancs & paroître tels ſur un verre tranſparent. Du reſte, ni moi, ni le graveur n'avons rien ajoûté à la beauté & à la variété de la Nature, nous ſommes au contraire demeurés bien au deſſous. Cette vitre n'a point de double, & les carreaux ſont d'environ $6\frac{1}{2}$ pouces de hauteur, ſur $5\frac{1}{2}$ de largeur.

Venons à la ſeconde obſervation.

Je fus vainement attentif à toutes les gelées, & à tous les dégels des années suivantes; rien de pareil ne se montra sur mes vitres jusqu'au mois de Janvier 1743, où, après plusieurs jours de gelée, & au commencement du dégel, j'aperçus de semblables figures sur les carreaux de la même fenêtre; mais malheureusement celui que j'avois dessiné par préférence en étoit le moins chargé, & il me fut impossible d'y bien distinguer si c'étoient les mêmes, ou des figures différentes, & autrement placées. Cependant j'étois sûr que les carreaux n'en avoient pas été changés. Mais pendant que j'y observois le phénomène, je fus averti qu'il paroissoit de même sur un des chassis de la fenêtre de ma chambre, au mur opposé & vers le couchant. Quatre des carreaux de ce chassis qui est double, mais dont un seul, le chassis extérieur, étoit demeuré fermé pendant la matinée & dans ce moment, se trouvoient chargés d'une semblable broderie, principalement autour du point d'intersection de la petite croisée de bois qui les séparoit; car ils étoient disposés quarrément: excepté que celui d'embas & le plus proche du mur de la fenêtre, vers le nord, se distinguoit par une tige qui partoit d'auprès d'un de ses angles, fort semblable à celle de la première observation. Elle se développoit en un plus grand nombre de rameaux, les carreaux du

chaſſis étant plus grands que ceux de la vitre de la galerie, & ayant chacun environ 9 pouces de hauteur ſur 7 ½ de largeur. J'en pris auſſi le deſſein; mais il eſt inutile de le rapporter, le premier nous ſuffit.

Ce n'eſt plus ici cette diſpoſition angulaire des filets de glace, cette affectation à s'arranger ſous un angle bien marqué, ſous un angle de 60 ou de 120 degrés, dont nous avons vû tant d'exemples dans la première Section de cette partie. Ce ſont des cercles ponctués & redoublés, comme pour repréſenter des tourbillons de pouſſière, des volutes, des courbes à point d'inflexion, dont rien juſqu'ici ne nous indique la tendance dans les particules de l'eau qui ſe glace, non plus que dans les ſels qui ſe cryſtalliſent. Car je dois dire à propos des ſels, qu'il y avoit eu ſouvent, & depuis peu, de l'urine ſur la fenêtre de ma galerie, & qu'il pouvoit bien s'en être exalté quelques particules juſqu'aux carreaux de vitre où étoient les figures, & qui n'étoient qu'à un ou deux pieds au deſſus de la tablette. Mais des congélations de l'urine, & des mélanges urineux avec l'eau, réſulte-t-il jamais autre choſe que des figures rectilignes, angulaires, & plus marquées à cet égard, que celles de l'eau? C'eſt ce que nous avons ſuffiſamment remarqué en ſon lieu, & mis ſous les yeux, planche III.

Sans compter que rien de pareil ne peut être allégué ſur la fenêtre de la chambre que j'habitois depuis 20 ans lorſque je vis ce phénomène pour la ſeconde fois.

Il faut donc avoir recours à un tout autre principe que celui des congélations & des cryſtalliſations ordinaires, & ce principe eſt à mon avis tout-à-fait étranger à la matière congelée ou cryſtalliſée.

Les divers mouvemens que l'ouvrier fait faire à la ſpatule ou baguette de fer avec laquelle il remue la pâte du verre avant que de le ſouffler & de l'aplatir, ne produiroient-ils point dans la matière vitreuſe, pluſieurs filets diſpoſés ſelon les mêmes directions, & cette diſpoſition, qui a pour cauſe les révolutions fortuites de la baguette, ne ſeroit-elle point à ſon tour la véritable cauſe des figures curvilignes tracées ſur le verre par la pouſſière de glace? Ce que les miroitiers appellent des *bouillons* ne vient apparemment que de là, lorſque le refroidiſſement plus ou moins prompt de la pâte les rend plus viſibles. Ils ne le ſont pas quelquefois à la vûe ſimple, dans les grands occulaires des lunettes; mais on ne les y aperçoit que trop en regardant à travers. Ils changent la réfraction de la lumière, & par-là la figure, & le lieu apparent du point lumineux ou de l'aſtre que l'on obſerve. Ne pourroient-ils donc pas changer auſſi le cours de la

matière ſubtile qui pénètre le verre, & déterminer les corpuſcules de glace, qui n'en ſont pas moins pénétrés, à ſuivre le même cours ?

Ce fut-là ma première conjecture. Voici la ſeconde qui n'exclut pas la première, mais à laquelle pourtant je m'en tiendrai, juſqu'à ce que j'apprenne quelque choſe de plus ſur ce ſujet.

Différentes idées, en révant à ce phénomène, me portèrent à jeter les yeux ſur un livre de dépenſe pour les ouvriers que j'emploie, & j'y trouvai, que vers la fin de l'automne précédente, environ deux mois avant ma première obſervation, faite en Janvier 1729, j'avois donné mes vitres à nettoyer, & à peu près de même avant la ſeconde, faite en Janvier 1743, ſans qu'on y eût touché dans cet intervalle. Là-deſſus je me rappellai la manière dont les vitriers nettoyent ordinairement les vitres, en les couchant horizontalement ſur une table, & en paſſant par-deſſus un linge ou toute autre matière, avec du ſable fin, & un peu d'eau. Toutes les révolutions que fait alors la main de l'ouvrier ſur le verre, me parurent abſolument analogues à celles que la pouſſière de glace décrit ſur les vitres dans le cas de notre phénomène; & l'on comprend aſſez qu'il en peut réſulter quelquefois des figures fort agréables à l'œil, toûjours fort

hardies & toutes ſemblables à celles de la planche V. Car il n'eſt pas poſſible que le ſable conduit ſimplement ſur le verre, & ſouvent preſſé contre avec force, n'y laiſſe des traces & des ſillons, ſinon viſibles, du moins phyſiquement très-réels. C'eſt dans ces rainures profondes rélativement aux particules infiniment petites de l'eau & des vapeurs, que ſe loge la pouſſière de glace qui les décèle par ſa blancheur, par ſon opacité, ou par ſes différentes réfractions. Mais par ſucceſſion de temps, ces rainures, ces ſillons ſe rempliſſent de pouſſière ou du ſédiment qu'y a dépoſé l'eau des pluies ou l'humidité des maiſons; & voilà pourquoi je crois que, toutes choſes d'ailleurs égales, le phénomène doit beaucoup plus ſouvent paroître ſur des vitres nouvellement nettoyées que ſur celles qui ne l'ont été que depuis long temps, ou qui ne l'ont point été du tout : nouveau ſujet d'expériences, qui ne ſeront pas bien difficiles dans les pays où l'on éprouve ſouvent de longues & fortes gelées.

Les deux cauſes que je viens d'aſſigner à ce phénomène pourront ſouvent l'emporter l'une ſur l'autre, ou ſe compliquer, de même que la double impreſſion du ſable dont on aura frotté les deux côtés du verre; & je ſuis fort trompé ſi ce n'eſt-là le cas de certaines figures bizarres, indéciſes & entrecoupées qu'on y remarque quelquefois, &

que j'y ai vûes sur quelques carreaux autour de ceux qui étoient les mieux façonnés.

On trouve dans nos anciens Mémoires * un phénomène qui a quelque rapport avec celui-ci, & où les sels d'une infusion d'antimoine ont non seulement décrit de ces sortes de figures sur les parois internes d'une bouteille quarrée à pans, mais y ont de plus gravé & creusé sensiblement le verre dans ces mêmes contours qu'on ne sauroit attribuer à la simple crystallisation de ce minéral, qui est toûjours disposé en aiguilles très-rectilignes, & qui ne donne rien de pareil en tout autre cas.

* Mém. de l'Acad. *Tome X, p. 403*, par M. Homberg.



SECTION V.

De la Glace artificielle par le moyen des ſels.

CE ſeroit la matière d'un grand & beau Traité de Chymie. Les ſels de toute eſpèce, acides, alkalis, fixes, volatils, naturels & artificiels, leurs différentes préparations, les eſprits qu'on en retire, font autant de ſubſtances qui, étant mêlées avec l'eau, la refroidiſſent plus ou moins, fondent la glace, forment ce mélange dont on environne l'eau qu'on veut glacer, & dont il doit réſulter autant de congélations différentes par la force ou par la promptitude, qu'ils ſont doués de différentes propriétés, ou employés en différentes doſes. Je ne puis ni ne dois traiter des congélations artificielles dans une pareille étendue : cette étendue même m'oblige à m'y renfermer dans des bornes étroites. Je ne parlerai que d'un petit nombre de ſels des plus connus par rapport à la congélation artificielle, & tels que la Nature ou que la fabrique ordinaire nous les donne, je me bornerai preſqu'entièrement à ce que j'en ai dit dans les éditions précédentes, & il me ſemble que je remplirai ſuffiſamment par-là l'objet que je me ſuis propoſé dans celle-ci.

CHAPITRE PREMIER.

Que les sels ne font geler l'eau qu'en faisant fondre la glace qu'on met autour. Expériences sur cette fonte.

LES sels par eux-mêmes, & dans les mêmes circonstances, ne sont pas plus froids que la glace. Environnés d'air ou de tel autre corps, fluide ou solide, qui ne les dissout point & qui n'en est point dissous, ils prennent, comme la plûpart des autres corps, à peu près la température, le degré de chaud ou de froid du milieu ou du corps qui les environne. Ainsi de la glace brisée & du sel brisé mêlés ensemble, ne formeroient point par la simple juxtaposition, ou par le contact mutuel de leurs parties non dissoutes, un tout sensiblement plus froid que la glace; & par conséquent ce tout, ce mélange de sel & de glace mis autour d'un vase rempli d'eau, ne la feroit pas plûtôt geler que la glace toute seule. Ce n'est donc que par la dissolution, par la fusion réciproque de la glace & des sels, que les sels mêlés avec la glace produisent ou accélèrent la congélation de l'eau.

On a vû dans la première partie de cet Ouvrage * comment les particules salines

* Chapitre VIII.

répandues dans l'air ou mêlées dans un terrein humide pouvoient les refroidir, & produire la congélation des rivières & des lacs. Voici des effets tout différens, & en apparence tout contraires.

Les ſels mêlés avec la glace la fondent très-promptement ; mêlés avec la glace & appliqués autour d'une bouteille pleine d'eau, ils font geler cette eau ; mêlés avec l'eau, ils l'empêchent de ſe geler, & néanmoins ils la rendent plus froide.

Le premier de ces phénomènes eſt le principal, & celui dont dépend, ſelon moi, l'explication de tous les autres; ſavoir, que les ſels accélèrent la fonte de la glace.

Commençons par nous aſſurer du fait: car comme on pile d'ordinaire la glace pour la plûpart des opérations qu'on en veut faire avec les ſels, qu'on la touche quelquefois avec les mains, & qu'elle eſt peut-être pendant ce temps-là expoſée à un air chaud, ou au ſouffle & à la tranſpiration du corps de ceux qui s'en ſervent, on pourroit bien attribuer la promptitude de ſa fonte à quelqu'une de ces circonſtances, plûtôt qu'à la vertu des ſels.

J'ai pris quatre morceaux de même glace de grandeur & de figure à peu près égales, & d'environ un pouce cubique: je les ai fait bien ſécher au grand froid pendant la gelée; enſuite j'ai enveloppé ou ſaupoudré

un de ces morceaux de glace de ſel marin bien ſec & bien pulvériſé, en ſorte que cette poudre faiſoit tout autour une eſpèce de croûte. J'ai ſaupoudré deux autres morceaux de la même manière, l'un avec du ſalpêtre, & l'autre avec du ſel ammoniac, & j'ai laiſſé le quatrième ſans y rien mettre.

Pour jeter le ſel ſur les trois premiers, je me ſuis ſervi d'une pièce de glace que je tenois avec des pincettes de fer, afin de ne pouvoir attribuer leur fonte à autre choſe qu'aux ſels; & quoique je fiſſe tout cela au grand froid, & avec beaucoup de diligence, je me ſuis aperçu que les pointes, les arêtes & les angles ſolides de la pièce de glace dont je me ſervois comme d'une palette, étoient déjà tout fondus.

Les quatre morceaux de glace étant en cet état, je les ai tranſportés ſur de petits treillis ou réſeaux de fil, dans un cabinet où il y avoit un poêle, & où j'entretenois l'air au degré de chaleur des caves de l'Obſervatoire, c'eſt-à-dire, autour du 54me degré de chaleur du thermomètre de M. Amontons *, & j'ai remarqué en même temps quelle heure il étoit à une pendule.

Cette expérience ayant été répétée trois fois, en voici le réſultat & le temps moyen

* Ou le 10me de celui de M. de Reaumur, qui n'a été donné depuis qu'en 1730; ces expériences ayant été faites en 1716.

des trois fontes des quatre morceaux de glace.

Le morceau qui étoit environné de ſel marin, a fondu toûjours en moins d'une heure.

Le morceau de ſel ammoniac, 5 à 6 minutes après.

Celui du ſalpêtre a été près de 2 heures à fondre.

Et le morceau de glace pure a toûjours duré plus de 5 heures $\frac{1}{2}$.

D'où il eſt clair que les ſels précipitent la fonte de la glace. On voit bien même que cela doit arriver ainſi, lorſqu'on prend garde à la configuration des corpuſcules ſalins: car leurs pointes ſont comme autant de coins qui écartent çà & là les parties intégrantes de l'eau glacée; ils les ébranlent du moins par leur choc lorſqu'ils ne peuvent trouver d'ouverture entre deux, ils en détruiſent la contiguité, & ils font en un moment ce qu'une aſſez grande chaleur ne feroit qu'en un temps conſidérable. C'eſt que la chaleur n'agit que par l'air & par la matière ſubtile, ou, pour parler plus exactement, la chaleur n'eſt qu'une matière ſubtile agitée avec un air auquel elle communique une partie de ſon agitation. Or la matière ſubtile eſt infiniment ténue & fluide, en comparaiſon des corpuſcules ſalins, & les particules de l'air ſont, comme il a été remarqué ci-deſſus, beaucoup plus légères que celles de l'eau, & par

conséquent que celles des sels, qui sont plus pesans que l'eau. Donc la matière subtile aidée de l'air ne peut pas si-tôt ébranler ou rompre par son choc les parties de la glace, les séparer & les liquéfier, que font les corpuscules salins, dont la figure d'ailleurs est très-propre à cet effet, même à l'égard de certains corps beaucoup plus durs que la glace; je parle des métaux, dont on sait que les dissolvans ordinaires ne sont autre chose que des sels.

CHAPITRE II.

Formation de la Glace artificielle.

VOYONS présentement la liaison de la propriété précédente des sels, avec la congélation qu'ils procurent à l'eau, étant mêlés avec de la glace ou de la neige, & appliqués autour d'une bouteille remplie d'eau.

Après avoir mis dans une bouteille l'eau qu'on veut glacer, on la plonge dans quelque vaisseau de capacité & de figure convenable, où il y a de la glace pilée ou de la neige mêlée de sel, de manière que la bouteille en soit environnée; ou, si l'on veut, on commence par mettre la bouteille dans le vaisseau, & l'on remplit de sel &

de glace le vuide qui se trouve tout autour.

Si les sels, en faisant fondre la glace, augmentent pour quelque minute sa froideur, c'est-à-dire, s'ils diminuent le mouvement ou le ressort de la matière subtile qui est contenue dans ses interstices, il n'y a pas de difficulté, ils doivent pendant ce temps-là procurer & accélérer la congélation du liquide autour duquel est le mélange de sel & de glace : car la matière subtile enfermée dans ce liquide, & duquel elle fait toute la liquidité, le doit quitter & se mettre en partie à la place de celle qui cesse par son relâchement de lui résister ou de lui faire équilibre. Or il est évident que les sels doivent produire cet effet, puisqu'ils écartent très-promptement les particules de glace qui étoient appliquées les unes contre les autres, & que par-là ils donnent lieu à la matière subtile qui y est contenue de dilater son ressort. De plus, le fait est certain par expérience : car si l'on met la boule d'un thermomètre à esprit de vin dans la glace ou dans la neige toute pure, jusqu'à ce que la liqueur s'arrête au degré de froideur de l'un ou de l'autre, & qu'on l'y replonge ensuite d'abord après y avoir mêlé un sel, du sel ammoniac, par exemple, on verra descendre l'esprit de vin presque subitement, & beaucoup plus bas qu'il n'étoit avant qu'on fît

ce mélange. L'effet est souvent plus marqué dans la neige que dans la glace, parce que les sels s'y incorporent plus vîte, & qu'elle enveloppe plus parfaitement le verre du thermomètre. Donc par la construction des liquides, la matière subtile enfermée dans de l'eau qui se rencontre tout auprès d'une glace ainsi fondue, doit s'échapper & se glisser dans les nouveaux passages qui lui sont ouverts, & où elle trouve moins de résistance à son mouvement que dans les interstices du liquide qu'elle quitte ; & par la théorie de la formation de la glace, cette effusion de la matière subtile intérieure doit être suivie de la congélation de l'eau, ou de tel autre liquide.

CHAPITRE III.

En quoi la Glace artificielle diffère de la Glace ordinaire.

LA glace artificielle est en tout semblable à celle qui vient sans le secours de l'art par un froid très-prompt & très-violent, excepté que ses bulles d'air prennent la plûpart une figure oblongue & conique, & que ses premiers filets sont courts, uniformes, serrés & presque toûjours attachés perpendiculairement aux parois du vaisseau. J'ai

remarqué cette différence, ſur-tout en faiſant geler de l'eau dans des gobelets ronds de verre avec de la glace & du ſel marin, du ſalpêtre, ou du ſel ammoniac.

Les premiers filets de glace & les bulles d'air en pointe tournées vers l'axe du gobelet, marquent viſiblement le cours & l'effuſion rapides de la matière ſubtile de l'axe vers la ſurface, c'eſt-à-dire, vers le mélange de glace & de ſel qui environne le vaiſſeau, & vers lequel la matière ſubtile intérieure coule & tend avec d'autant plus de vîteſſe & d'abondance, qu'elle y trouve plus de place, & que les nouveaux intervalles qui s'y ſont faits par la déſunion précipitée des parties de la glace, facilitent davantage la dilatation de ſon reſſort. La figure particulière & oblongue des bulles d'air de la glace qui s'eſt formée ainſi, ne vient que de la promptitude avec laquelle elles ſont chaſſées de la ſurface vers l'axe, & de ce que les particules d'eau entre leſquelles elles ſe trouvent comprimées, ſont devenues dures & inflexibles avant que ces petits amas d'air aient pû reprendre leur figure ſphérique.

La promptitude des congélations artificielles eſt encore cauſe qu'on a ſouvent de la peine à diſtinguer les premiers filets de glace, parce qu'ils ſont ſi uniformes & ſi près les uns des autres, qu'ils forment dans un moment une eſpèce de couronne ſur les bords

bords intérieurs du vaſe qui contient l'eau, & qu'elle s'y congèle parallèlement à ces bords, à peu près comme les métaux fondus quand ils ſe refroidiſſent, juſqu'à ce qu'enfin l'endurciſſement parvienne au centre ou à l'axe.

Ces ſingularités de la glace artificielle ne détruiſent en rien ce que nous avons dit des premiers filets de la glace ordinaire, & de l'obliquité ſous laquelle ils affectent de ſe joindre les uns aux autres, & aux matières qui leur ſont analogues : car il eſt viſible que ce n'eſt ici qu'une force étrangère, une force ſupérieure à leur tendance naturelle, qui les oblige à ſe diriger perpendiculairement vers les bords du vaſe autour duquel elle s'exerce.

Du reſte, je n'ai rien remarqué dans le goût ni dans les autres qualités ſenſibles de la glace artificielle qui la fît différer de la glace ordinaire. Le piquant que quelques perſonnes ont cru y apercevoir par la communication des ſels employés à l'opération, & qui leur a fait penſer que par cette circonſtance les glaces artificielles pouvoient être mal-ſaines, ne vient, à mon avis, que d'une illuſion que j'ai déjà indiquée en parlant du goût de la glace en général *, & je ne vois pas d'apparence que le mélange de ſel & de glace pénètre juſqu'à la liqueur

* Ci-deſſus, *p. 289.*

qu'on fait geler, lorſque les vaiſſeaux qui la contiennent ſont d'une matière compacte, métallique, & ſur-tout vitreuſe. Mais comme la queſtion eſt intéreſſante, je dois dire un mot des raiſons qui me le font penſer ainſi.

C'eſt un ſentiment communément reçu & fondé ſur pluſieurs expériences chymiques, qu'en général, les parties intégrantes des ſels ſont plus groſſes que celles de l'eau. M. Lémery croyoit auſſi que ces parties, dans les diſſolutions des ſels avec l'eau, ne pouvoient ſe loger entre ſes interſtices, & il le prouvoit par cette expérience *. Il mettoit de l'eau dans un tuyau de verre juſqu'à une certaine hauteur qu'il marquoit, il y jetoit enſuite une quantité de ſel proportionnée à ce que l'eau pouvoit en diſſoudre. La liqueur s'élevoit auſſi-tôt de la quantité du volume du ſel qui s'étoit précipité au fond du tuyau; il marquoit ſur ce tuyau l'endroit juſqu'où elle avoit monté, & quand le ſel étoit entièrement fondu, il retrouvoit encore la liqueur au même endroit, ce qui n'auroit pû arriver ſi les ſels s'étoient logés en tout ou en partie dans les interſtices des parties intégrantes de l'eau.

Mille phénomènes prouvent en même temps la petiteſſe extrême des parties intégrantes de l'eau. M. Nieuwentyt, qui a fait là-deſſus bien des obſervations & un calcul

* Mém. de l'Acad. 1716, p. 166.

d'après les vapeurs qui s'élèvent d'un éolipyle, démontre que la pointe la plus aigue d'une aiguille pourroit porter plus de 13000 de ces parties *(a)*.

Mais quelle que ſoit cette petiteſſe, il n'eſt pas moins certain que les parties intégrantes de l'eau ne paſſent pas à travers les pores du verre. On a trouvé qu'une bouteille pleine d'eau, qui avoit été gardée cent cinquante ans, ne laiſſoit pas de contenir après ce terme la même quantité d'eau dont on l'avoit remplie *(b)*.

Or ſi les parties intégrantes de l'eau, bien plus petites que celles des ſels, ne peuvent pénétrer le verre, comment les ſels le pénétreroient-ils ! Je n'ignore pas qu'il y a tel fluide qui ne peut par lui-même traverſer certains corps, & qui les traverſe à l'aide d'un liquide où il eſt mêlé. C'eſt ainſi que l'air, qui ne peut paſſer à travers certaines membranes étant ſeul, y paſſe pourtant avec l'eau, puiſqu'on en retrouve cette eau toute imprégnée comme auparavant. Mais la manière dont l'air eſt contenu dans les liquides *(c)*, & la groſſeur, la ſolidité, la roideur & la figure qu'on attribue conſtamment

(a) L'exiſtence de Dieu démontrée par les merveilles de la Nature, p. 500.

(b) Muſſchenbr. *Eſſai de Phyſ. p. 425.*

(c) Ci-deſſus, *p. 133 & ſuiv.*

aux ſels, ne permettent point d'en faire l'application au cas préſent.

Reſtent les matières métalliques, comme le fer-blanc, le cuivre, l'argent, &c. dans leſquelles on fait les glaces artificielles ; & il eſt vrai encore que l'eau pénètre, à ce qu'on croit, les métaux. On le juge ainſi ſur la fameuſe expérience de Florence, où une ſphère creuſe d'or remplie d'eau étant frappée avec le marteau, laiſſoit échapper l'eau par une infinité de petits points. Mais outre qu'on pourroit douter ſi la percuſſion n'y avoit pas produit bien de petites fêlures imperceptibles, qu'y a-t-il dans la ſimple juxtapoſition du mélange de glace & de ſel autour d'un vaiſſeau, qui puiſſe être comparé à la force immenſe de la percuſſion ! Et quand l'eau paſſeroit à travers le métal, s'enſuit-il que les particules de ſel y paſſeroient !

Toutes ces raiſons me perſuadent que les glaces artificielles, telles qu'on les fait d'ordinaire, ne ſe chargent nullement des ſels qu'on emploie à les faire.

CHAPITRE IV.

Du dégel artificiel, ou de la manière dont on fait dégeler les fruits & les membres gelés.

SI au lieu de mettre l'eau dans la bouteille, & le mélange de sel & de glace tout autour, on remplissoit la bouteille de sel & de glace, & qu'on la plongeât ainsi dans l'eau, il est clair, & l'on peut aisément s'en convaincre, qu'une partie de l'eau du vaisseau se glaceroit autour de la bouteille.

C'est précisément ce qui arrive lorsqu'on fait dégeler des fruits dans de l'eau médiocrement froide, ou même dans la neige, en un lieu assez chaud pour qu'elle y puisse fondre; car il se forme très-promptement autour de leur peau une croûte de glace dure & transparente, & plus ou moins épaisse, selon la grosseur & la qualité du fruit.

Les fruits, de même que les arbres & les plantes qui les produisent, contiennent un sel essentiel & volatil intimement mêlé avec leur suc; de sorte que l'eau médiocrement froide ou la neige fondue venant à dégeler ce suc, qu'un froid extrême avoit fixé, y remet les sels en mouvement, & en état d'en accélérer la fonte; la matière subtile voisine, qui tend toûjours vers le côté où elle trouve

moins de résistance, va remplir les ouvertures qu'ils y font, elle quitte l'eau qui touche & qui environne la peau qui tient lieu de bouteille au suc contenu dans le fruit, & cette effusion de la matière subtile intérieure de l'eau produit sa congélation.

Ce que je viens de dire des fruits, & que j'ai souvent expérimenté moi-même, arrive aux œufs & à la chair des animaux, où les sels n'abondent pas moins que dans les fruits. Aussi n'ignore-t-on pas en Russie, & dans les pays où l'on est souvent exposé à avoir quelque partie du corps gelée, ou extrêmement refroidie, que le meilleur moyen de remédier à ce fâcheux accident, de prévenir la gangrène, & de ranimer la partie gelée, est de la tremper dans l'eau froide, ou dans la neige, & d'y laisser reprendre peu à peu un libre cours à la circulation. C'est par le moyen de la neige ainsi appliquée, qu'on sauva au Roi d'Angleterre Jacques I, pendant qu'il étoit en Norvège, un doigt de la main, & une oreille *. Le mal ne se fait sentir que dans l'application du remède, & il cause alors de très-grandes douleurs.

* J. Barclay, *Euphormionis Lusinini. Satyricon. part. 4, cap. 8.* Voy. aussi sur ce sujet Isr. Conrad, *de Frigoris natura & effect.* Th. Barth. *de nivis usu medico, cap. 29, &c.*

CHAPITRE V.

De l'efficacité des différens sels pour la congélation artificielle.

PUISQUE les sels n'agissent sur l'eau qu'on veut glacer, qu'en tant qu'ils produisent la fonte de la glace avec laquelle ils sont mêlés autour du vase où l'eau est contenuë, il est tout naturel de penser, & l'expérience le confirme, que les sels doivent avoir d'autant plus de force ou d'efficacité pour faire glacer l'eau, que la fonte qu'ils causent à la glace est plus prompte.

Nous avons vû ci-dessus * que le sel marin étoit celui de tous qui fondoit le plus promptement la glace, ensuite le sel ammoniac, & enfin le salpêtre : c'est dans cet ordre que nous rangerons ces sels par rapport à leur efficacité pour la glace artificielle.

Mais en quoi pourroit-elle consister cette efficacité, que dans le refroidissement qu'ils produisent sur la glace concassée avec laquelle ils sont mêlés, & en la fondant ? je n'en vois pas de cause plus prochaine.

Or le refroidissement causé par ces sels mêlés avec la glace, ou dans le mélange d'eau & de glace qui en résulte par la fusion,

* *Page 356.*

fur une partie de chacun de ces fels avec deux parties de glace, & par le thermomètre dont on y a plongé la boule, fe trouve différer felon ces rapports 15, $12\frac{2}{3}$, $3\frac{1}{2}$ *(a)*. C'eft-à-dire, que la liqueur du thermomètre plongé dans le mélange de glace & de fel marin y eft defcendue de 15 degrés de plus que dans la glace toute pure; dans le mélange de glace & de fel ammoniac de $12\frac{2}{3}$, & dans le mélange de glace & de falpêtre de $3\frac{1}{2}$.

Sur quoi l'on peut remarquer que le rapport d'efficacité des fels marin & ammoniac pour ce refroidiffement, eft prefque abfolument le même que celui que nous avons donné ci-deffus *(b)*, & trouvé en 1716, pour la fonte de la glace; en raifon inverfe des temps. Car fi l'on compte, par exemple, 55 minutes pour la fonte du morceau de glace entouré de fel marin, & 65 pour la fonte du morceau entouré de fel ammoniac; on trouvera que ces nombres font entr'eux comme 15 & $12\frac{9}{13}$, qui ne diffère de $12\frac{2}{3}$ que de $\frac{1}{495}$. J'avoue que faute d'avoir énoncé plus précifément ce que j'entendois par *en moins d'une heure*, pour la fonte du morceau de glace par le fel marin, ce n'eft ici que par eftime que j'in-

(a) D'après les exp. de M. de Reaumur, *Mém. de 1734.*

(b) Page 356.

dique le nombre de 55 minutes; mais comme il n'y a nulle apparence que ce *moins* signifiât autre chose que quelques minutes, 3, 4, 5 ou 6, & que je me sers ensuite du même à peu près de *5 à 6 minutes,* pour la fonte du morceau de glace entouré de sel ammoniac; comme il n'y a, dis-je, nulle apparence que cette expression signifiât rien de plus, on trouvera toûjours le terme relatif au sel ammoniac d'environ 12 ou 13 d'efficacité. Ce qui suffit pour faire sentir l'accord de cette ancienne expérience avec la nouvelle détermination de l'efficacité de ces deux sels, & l'analogie de cette efficacité avec la promptitude des fontes.

Il n'en est pas de même à l'égard du salpêtre. Son peu de promptitude ou plûtôt sa lenteur à fondre la glace donneroit encore environ 7 d'efficacité au lieu de $3\frac{1}{2}$ qui résultent des expériences rapportées ci-dessus. Mais il y a ici une compensation à observer, c'est la promptitude avec laquelle le salpêtre déploie son action à cet égard, en comparaison du sel marin & du sel ammoniac. Car je trouve par ces mêmes expériences, faites avec une attention & dans un loisir que je n'ai pû oublier, que ce sont deux choses très-distinctes & qui ne suivent nullement le même ordre, la force ou l'efficacité des sels pour la congélation artificielle, mesurée par le degré de refroidissement, & la promp-

titude ou la lenteur de cette même congélation. Le sel ammoniac qui dissout la glace plus promptement que le salpêtre, & un peu plus tard que le sel marin, me parut toûjours celui qui donnoit la congélation artificielle la plus prompte, ensuite le salpêtre. Et le sel marin qui fait fondre la glace le plus vîte, & qui produit le plus grand refroidissement dans la glace qu'il fond, fut celui de tous qui me donna la congélation artificielle la plus lente. Ce sel est très-compacte, ses parties intégrantes ont vrai-semblablement beaucoup de peine à se désunir; mais quand elles sont une fois désunies, & qu'elles ont pénétré celles de la glace, elles y agissent plus fortement que toutes les autres.

Le sucre ordinaire, qu'on pourroit employer à la congélation artificielle au défaut des autres sels, fait descendre la liqueur du thermomètre de 4 degrés au dessous du point de la congélation; les cendres de bois verd de 3 degrés, l'alun de $1\frac{1}{2}$, & la chaux vive de $1\frac{1}{4}$. Le sel gemme purifié, plus puissant que tous les autres, la fait descendre de 17 degrés *.

Les esprits acides font d'ordinaire plus d'effet que les sels dont ils sont tirés; mais c'est une discussion qui nous écarteroit trop des bornes que nous nous sommes prescrites.

* Exp. de Mrs. de Reaumur & l'Abbé Nollet,

CHAPITRE VI.

Si les Sels n'agissent absolument sur la Glace, pour la fondre, que par leur dissolution.

MALGRÉ l'axiome de Chymie, que *les sels n'agissent qu'en tant qu'ils sont dissous*, & quoique cet axiome soit en général très-vrai, j'ai toûjours penché à croire, que les sels appliqués à de la glace bien froide, exposée à un air très-froid, & par-là vraisemblablement très-sèche, pouvoient la fondre & y produire du moins une légère sueur; après quoi la fusion plus complète de la glace & l'action des sels dissous tombent dans le cas ordinaire.

Un célèbre Chymiste *, avec qui je ne me trouvai pas d'accord sur ce point, & qui ne croyoit pas que le principe pût recevoir d'exception, me donne lieu d'en proposer ici le problème.

N'y auroit-il pas dans les sels employés à la fonte de la glace quelques parties volatiles, pénétrantes & incisives, qui s'insinuent dans les interstices de sa superficie, qui en ébranlent mille petits flocons imperceptibles & les font redevenir liquides! Il n'en faut

* M. Lémery.

pas davantage pour y produire un peu d'humidité : cette humidité diſſoudra bien-tôt une partie des ſels, & ces ſels diſſous acheveront la fonte de la glace.

Eſt-il plus vrai-ſemblable que la glace la plus ſèche en apparence, & dans l'air actuellement le plus froid, conſerve toûjours autour de ſa ſurface une pellicule d'eau liquide, ou, ce qui revient au même, qu'il y ait eſſentiellement dans l'eau la plus pure des parties qui ne ſe gèlent jamais, quelque grand que ſoit le froid, quelque mince que ſoit cette pellicule, & quelque favorables que ſoient toutes les circonſtances à la congélation des plus grandes maſſes d'eau ! Car c'eſt à cette alternative que ſe réduit toute la queſtion.

Il eſt ſans exemple que du ſalpêtre, du ſel marin ou du ſel ammoniac, appliqués à de la glace ne l'aient pas fait fondre en tout ou en partie, à raiſon de leur quantité & du temps qu'ils y ſéjournent. On a vû ci-deſſus avec quelles précautions j'en fis l'expérience. Je les redoublai ces précautions, en la répétant pluſieurs fois, pendant la longue gelée des mois de Janvier & de Février 1731. De grandes pincettes de fer, & tout ce que j'y employois d'inſtrumens & de ſels, étoient ſoigneuſement & long-temps refroidis à cette gelée, avant que d'en toucher la glace ; la fonte s'en

enfuivoit toûjours. M. du Fay, M. Petit Médecin, & un troifième également exercé dans la Phyfique expérimentale & dans la Chymie, répétèrent chacun en particulier la même expérience, & avec le même fuccès. Le dernier fit plus ; il appliqua une feuille de talc fur la glace, mit du fel ammoniac par deffus, & la glace qui étoit deffous commença à fondre *. C'eft malheureufement ce que je ne puis vérifier dans la faifon où je finis cet ouvrage.

Comme nous nous étions tous fervis de ce fel dans ces expériences, quelqu'un mit en doute fi le fel ammoniac, quoiqu'expofé plufieurs heures d'avance à la gelée, ne retenoit pas toûjours affez de chaleur pour caufer une petite fonte fuperficielle à la glace. Pour l'éprouver j'enveloppai la boule d'un thermomètre de ce fel bien pulvérifé, & je l'expofai ainfi à la gelée : mais la liqueur de ce thermomètre s'y arrêta bien-tôt au degré de froid qu'il faifoit alors, les 4 & 5 Février, favoir, à 50 du thermomètre de M. Amontons, qui répondent à 7 ou 8 degrés de celui de M. de Reaumur au deffous du terme de la congélation, fi ce n'eft qu'elle

* Je n'ofe nommer ici cet habile Phyficien, de l'Académie des Sciences comme les précédens, parce qu'il ne fe fouvient plus aujourd'hui de ce fait ; mais j'en trouve la note fur mes mémoires, écrite dans le temps, & je fuis bien fûr de ne l'avoir pas écrite à la légère.

me parut defcendre un peu plus bas. Je fis par occafion la même expérience avec du fel marin, & avec du falpêtre, & le réfultat en fut à peu près le même.

Je laiffe maintenant au lecteur à juger fi les fels n'agiffent abfolument fur la glace, pour la fondre, que par leur diffolution.

CHAPITRE VII.

De la propriété qu'ont les Sels de refroidir l'eau où ils font diffous, fans la glacer.

LES fels dont l'action eft très-efficace pour faire glacer l'eau, comme le fel marin & le fel ammoniac, augmentent non feulement la froideur de la glace & de la neige, de la manière que nous l'avons vû, mais encore ces mêmes fels étant diffous à froid dans l'eau en fuffifante quantité, par exemple, d'une livre de fel ammoniac ou de nitre fur 3 ou 4 pintes d'eau, ils la refroidiffent, au delà même du degré de la congélation, fi la froideur de cette eau en approchoit déjà.

Pour bien faire cette expérience, il faut plonger d'abord la boule d'un thermomètre dans l'eau, & l'y laiffer jufqu'à ce que l'efprit de vin s'arrête au véritable degré de la froideur de l'eau; enfuite on y jetera le fel

ammoniac ou le sel marin en poudre, on le remuera avec un bâton pour le faire dissoudre plus vîte, & l'on verra dans 2 ou 3 minutes l'esprit de vin descendre de 4, 5 ou 6 degrés, plus ou moins, selon le degré de froideur qu'avoit l'eau avant qu'on y eût mis les sels. J'ai presque toûjours vû cesser la descente de l'esprit de vin en moins d'un quart-d'heure, après quoi le thermomètre remonte, mais beaucoup plus lentement qu'il n'étoit descendu, en sorte qu'il est près d'un quart-d'heure comme stationnaire.

C'est à cet égard que le sel ammoniac est de tous les sels le plus efficace, & beaucoup plus que le sel marin qui l'emporte sur tous les autres pour refroidir la glace qu'il fond, ou pour la congélation artificielle. Et voilà encore une de ces singularités à remarquer, & une distinction à faire sur l'efficacité des sels considérée sous différens aspects.

L'eau qui a été rafraîchie avec du sel ammoniac, peut servir faute de glace à rafraîchir une bouteille d'eau ou de vin presque autant que la glace, ou même à faire de la glace, comme nous le dirons bien-tôt. M. Lémery le père, dans son Cours de Chymie *, en attribue la découverte à M. Boyle. Cependant je trouve dans le P.

* Dixième édit. *part. 1, ch. 17.*

Kircher *, plus ancien que Boyle, que la coûtume de rafraîchir l'eau en été avec du salpêtre, étoit fort établie à Rome de son temps; & il n'y a point d'apparence qu'on n'y eût pas essayé des autres sels. Le vil prix aura fait donner la préférence au salpêtre qui est encore à cet égard plus efficace que le sel marin.

Toutes ces propriétés des sels, & toutes ces irrégularités apparentes doivent cependant être ramenées à la propriété générale que nous leur avons d'abord assignée, de fondre, de diviser, de dissoudre les substances où ils se dissoudent eux-mêmes, mais sur lesquelles ils agissent avec plus ou moins de force, de promptitude ou de lenteur, à raison de leur contexture propre, de la grosseur & de la mobilité de leurs parties, relativement à la contexture, à la grosseur, à la mobilité des parties & à l'état actuel de ces substances. L'action du sel marin, par exemple, n'est vrai-semblablement si forte & si marquée sur l'eau glacée & solide, & dans les congélations artificielles, que par la grosseur & par le poids de ses parties qui heurtent celles de la glace, qui en détachent ou en séparent de grosses pièces, & y causent des vuides où la matière subtile se dilate & perd considérablement de son ressort: & l'action du sel marin n'est si foible à l'é-

* *Mund, Subterr.* l. 6, s. 2, c. 2, *de Nitro.*

gard de l'eau pure & dans sa liquidité, que parce que ce fluide lui cède par sa mobilité, & que les particules salines s'y glissent par la simple division, sans y former des vuides si sensibles. Ce sera tout le contraire du sel ammoniac.

Le sucre, qui n'est guère que le sel essentiel du roseau d'où on le tire, le soufre, les cendres même encore chaudes, & généralement toutes les matières qui contiennent une certaine quantité de sel, rafraîchissent l'eau, & font baisser la liqueur du thermomètre qu'on y a plongé, à raison de cette quantité & des principes qui les modifient. Les autres matières, telles que le sable fin, le limon, mêlées dans l'eau, rendent seulement sa congélation plus tardive, moins ferme & moins compacte; & l'effet en est d'autant moindre, en général, qu'elles se dissolvent moins dans l'eau, & contiennent moins de sel; car il est peu de matières qui n'en contiennent.

Dans quelques-unes de ces expériences il faut prendre garde à une circonstance accidentelle qui pourroit les rendre équivoques en tout ou en partie. Je veux parler de ce que les Académiciens de Florence appellent *le saut d'immersion du thermomètre* *, ce changement

* *Salto dell' immersione*, &c. *p. clxxvij.* Voy. une explication plus particulière & le calcul de ce phénomène, *Comment. Ac. Petrop. T. IX, p. 248*, par M. Krafft.

ſubit qui ſurvient au verre de l'inſtrument, & qui a lieu, ſoit en contraction, ſoit en dilatation, toutes les fois qu'on le plonge dans une liqueur dont la température diffère ſenſiblement de celle du milieu d'où il ſort: car il monte ſur le champ dans celle qui eſt plus froide, & il deſcend dans celle qui eſt plus chaude. Il redeſcend enſuite, ou il remonte, & ce n'eſt que quelque temps après qu'il s'arrête au véritable degré de la température de l'une ou de l'autre. C'eſt ainſi, par exemple, qu'une pellée de braiſe jetée dans de l'eau où l'on plonge ſur le champ un thermomètre, en fait d'abord deſcendre la liqueur de quelques degrés. Je ne voudrois pas répondre, cependant, que la prompte dilatation de la matière ſubtile contenue dans l'eau, & le paſſage ſubit de celle que contient la liqueur du thermomètre dans les interſtices élargis de cette eau, ne fuſſent auſſi cauſe plus ou moins de cette deſcente. Mais on peut, ce me ſemble, remédier à cet inconvénient, du moins en partie, en plongeant le thermomètre dans un autre vaſe rempli d'eau, & plongé lui-même dans l'eau de celui où l'on jette tout-à-coup les ſels, les matières réfrigérantes ou *échauffantes*. Car l'eau contenue dans ce vaſe intérieur, où je la ſuppoſe en aſſez grande quantité, ne ſauroit prendre ſi ſubitement dans toute ſa maſſe le degré de chaud ou de froid de celle qui l'envi-

ronne dans le grand vaiſſeau. Le thermomètre qui en occupe le centre ou l'axe, baiſſera donc ou hauſſera moins promptement, mais auſſi d'une manière moins équivoque par rapport au phénomène dont il s'agit.

La propriété qu'ont les ſels & les matières qui en contiennent une certaine quantité, de rafraîchir l'eau où ils ſont mêlés, ſans la glacer, peut nous aider encore à comprendre comment les exhalaiſons terreſtres, les ſalines ſur-tout, qui s'élèvent dans un air humide, doivent refroidir ſenſiblement le temps, en toute ſaiſon, & plus ſenſiblement en été, où elles s'élèvent en plus grande abondance par la chaleur du Soleil. Nous avons expliqué dans la première partie, chap. VIII, & nous le verrons plus particulièrement ici, comment ce refroidiſſement peut aller juſqu'à produire la congélation.

CHAPITRE VIII.

De la congélation artificielle par le moyen des ſels, ſans glace.

J'AI douté long-temps que l'on pût faire de la glace par le moyen des ſels ſans le ſecours d'une glace étrangère, & je demeure encore perſuadé, que lorſque je commençai à travailler ſur la glace, perſonne n'avoit fait geler artificiellement de l'eau ſans ce ſe-

cours ; ſi ce n'eſt peut-être quelques gouttes par haſard & ſans connoiſſance de cauſe. La manière même dont s'y étoient pris les Auteurs qui en parlent, me confirmoit dans ce ſentiment. Je trouvois dans M. de la Hire* *que l'on faiſoit geler de l'eau déjà très-froide en enveloppant la fiole avec du ſel ammoniac tout ſeul, ſans le ſecours de la neige.* J'en fis l'expérience, qui ne me donna point de glace, comme elle ne m'en devoit point donner. J'en conclus donc que M. de la Hire n'avoit parlé que ſur le témoignage d'autrui, que cette *eau très-froide*, & peut-être toute diſpoſée à ſe geler d'elle-même, avoit, ſans doute, induit en erreur des perſonnes moins éclairées que ce ſavant homme, ou enfin, qu'on pouvoit bien avoir avancé le fait ſur la ſimple conjecture mal entendue.

La glace que quelques autres imaginoient devoir ſe faire de la diſſolution même du ſel ammoniac avec l'eau, ne me fut pas moins ſuſpecte, étant diamétralement oppoſée à la propriété conſtante des ſels mêlés avec l'eau, d'en empêcher ou d'en retarder la congélation, bien loin de la favoriſer. Le haſard de quelque prompte cryſtalliſation & le concours de pluſieurs circonſtances pourront avoir occaſionné une légère

* *Explication des effets de la Glace & du Froid.* Mém. de l'Acad. T. IX, p. 485.

congélation ſur quelques gouttes d'eau, comme il étoit arrivé à un très-habile Chymiſte * qui faiſoit diſſoudre du ſel ammoniac dans l'eau, mais qui avoue qu'il ne pût jamais revenir à produire de pareille glace, quelque tentative qu'il fît pour cela. Ces gouttes ſe trouvoient apparemment tout-à-fait dénuées de ſel, & environnées de quelques autres qui en étoient chargées, ce qui fit ſur les premières un effet ſemblable à celui du mélange de ſel & de glace fondue autour d'une bouteille pleine d'eau, ainſi que je l'ai conçu en expliquant la congélation intérieure des terres par le nitre ou les autres ſels dont elles ſont imprégnées.

J'étois donc fondé à croire qu'on n'avoit point fait de la glace par ces moyens; mais je ne l'étois pas à préſumer que la choſe fût impoſſible ou même ſi difficile, en s'y prenant autrement, & j'aurois dû raiſonner ainſi. Puiſque du ſel ammoniac pulvériſé & jeté dans l'eau la refroidit, & de plus en plus, ſelon qu'elle eſt plus froide, ſi l'on prend de l'eau déjà refroidie dans ce mélange, & qu'on jette encore dans celle-ci du ſel ammoniac pour en refroidir une ſeconde, & ainſi de ſuite, on aura donc enfin un mélange de ſel & d'eau auſſi froid ou plus froid que la

* M. Geoffroy l'aîné, *Obſervations ſur les Diſſolutions & ſur les Fermentations que l'on peut appeller froides, &c.* Mém. de l'Acad. 1700, p. 119.

glace, ſans qu'il ceſſe d'être liquide, comme on doit le conclurre de ce qui a été dit dans le chapitre précédent. Donc ſi l'on plonge une bouteille d'eau pure moins froide que la glace dans ce mélange auſſi froid ou plus froid que la glace, elle s'y gélera. Et c'eſt ainſi en effet qu'on eſt parvenu à faire de la glace ſans glace. Découverte qui peut devenir en bien des occaſions & dans bien des pays quelque choſe de mieux que curieuſe, & que nous devons au célèbre M. Boerhaave *.

CHAPITRE DERNIER.

De la Congélation artificielle ſans glace & ſans ſels. Concluſion de cet ouvrage.

SI l'expérience projetée dans le chapitre V de la Section II, page 229, avec une eau plus froide que la glace & pourtant liquide, a le ſuccès qu'on en peut attendre, on fera de la glace d'une eau moins froide que la glace ſans le ſecours d'une glace étrangère & ſans ſels: car cette première eau y tiendra lieu du mélange de ſel & de glace de la congélation artificielle ordinaire. Ou enfin ſi par quelqu'un des moyens propoſés dans les chapitres VIII & IX de la même Section,

* *Chem.* De igne *Exp. 4, cor. 4.*

on pouvoit refroidir l'eau de plus en plus & jufqu'au point de la glacer, on feroit encore en ce cas, & d'une manière plus utile, de la glace fans glace & fans fels.

Voilà ce que j'ai cru de plus effentiel à dire fur la Queftion de la glace. Je me fuis affez expliqué dans le difcours préliminaire qui fert de préface à cet ouvrage, fur la difficulté de cette queftion, fur les juftes raifons que j'avois de me défier de mes lumières en la traitant, fur la forme fyftématique dans laquelle je l'ai traitée & fur les fyftèmes en général, & enfin fur la matière fubtile que j'y ai employée & qui fait la bafe de toute ma théorie fur ce fujet. Je ne fuis pas le premier, fans doute, qui ait eu recours à cet agent univerfel pour rendre raifon de la liquidité des corps & de leur transformation en glace; mais perfonne, que je fache, n'en avoit encore donné à cet égard une analyfe exacte. On n'avoit pas démêlé la caufe immédiate & générale de la congélation d'avec celles qui ne font que concourir avec elle, en tant feulement qu'elles en augmentent ou qu'elles en diminuent l'action; & fur-tout on n'avoit pas approfondi là-deffus la méchanique des liquides, la manière dont l'équilibre fe conferve ou fe détruit entre leurs parties intégrantes & la matière fubtile intérieure qui leur donne

le mouvement, & l'extérieure dont ils ſont immédiatement environnés. C'étoit-là pourtant, ſi je ne me trompe, le point fondamental de la queſtion; du moins n'eſt-ce que par-là que j'ai tenté d'expliquer la formation de la glace & ſes principaux phénomènes, ſans m'écarter des idées claires de l'étendue, de la figure & du mouvement. Si parmi les explications que j'ai déduites du principe, ſi parmi les nouvelles vûes que j'ai jetées dans l'ouvrage il s'en trouve quelqu'une qui mérite d'être adoptée, je ne regretterai point le temps que j'ai donné à ces recherches, perſuadé que dans cette manière de philoſopher, la plus épineuſe, la plus tardive, &, en un ſens, la plus hardie & la plus périlleuſe, mais à mon avis la plus légitime, les moindres ſuccès nous dédommageront amplement d'une infinité de tentatives inutiles ou téméraires.

FIN.

TABLE

TABLE DES MATIÈRES.

A

D

F

ee

M

O

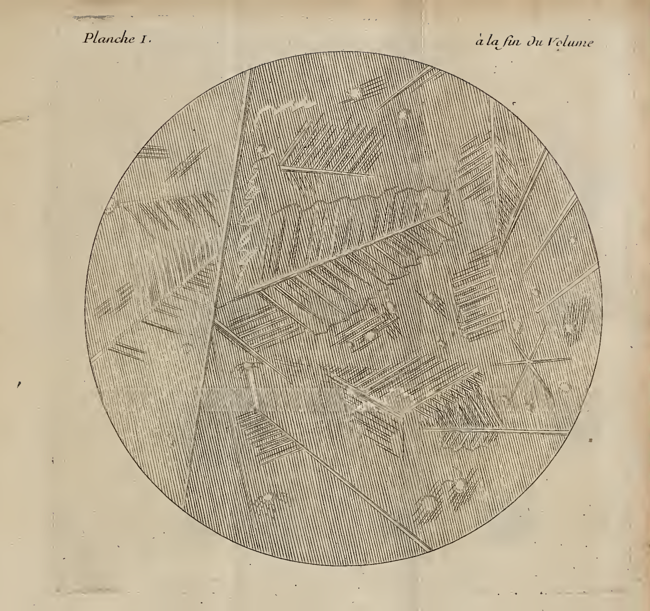
P

T

Fin de la Table.

Faute à corriger.

Page 287, ligne 5, au lieu de beaucoup loin, *lisez* beaucoup plus loin.



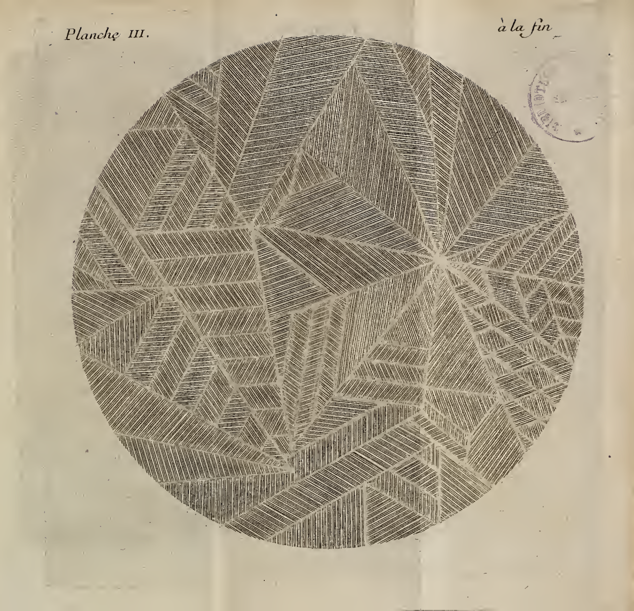
1 A H C B T P D I F E X Q

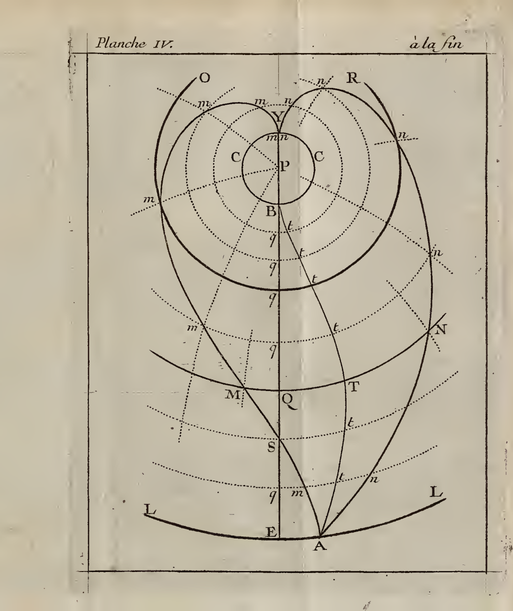
2 G L M N

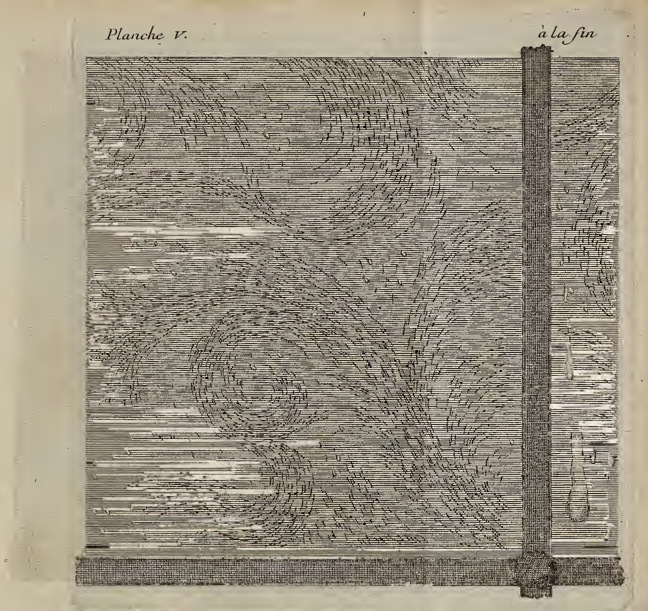
3 C P S Σ

4 M T Q Z






O
R
m
m
n
n
n
Y
m n
C
P
C
m
B
t
q
t
q
t
q
t
m
N
q
M
Q
T
t
S
t
n
q
m
L
L
E
A








78
22